



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**MĚŘENÍ KONCENTRACÍ VYBRANÝCH SLOŽEK VE
SPALINÁCH**

MEASUREMENT OF SELECTED COMPONENTS IN FLUE GAS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vítězslav Stach

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Jecha, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Vítězslav Stach**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. David Jecha, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření koncentrací vybraných složek ve spalínách

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na spalovnách odpadů se používají k vyhodnocení plynných emisí ve spalínách různé typy analyzátorů spalin. Přínos této práce bude spočívat v kvalitně vypracované rešerši o používaných analyzátorech spalin jejich popisu a možnostech použití.

Cíle bakalářské práce:

Seznámení se s měřením plynných složek ve spalínách.
Popis analyzátoru spalin a metod měření.
Vytvoření manuálu pro jednotlivé analyzátory a protokolu měření.
Praktické zkoušky citlivosti čidel analyzátorů pro jednotlivé složky.
Vyhodnocení jednotlivých metod měření a citlivosti čidel měření.

Seznam doporučené literatury:

CONSIDINE, C. M. a kol.: Process/Industrial Instruments and Control Handbook. New York, McGraw-Hill, Inc. 1993
KADLEC, K., P. ŠTEKL: Pelistorové senzory-vlastnosti a aplikace, In: 44.konference Chisa '97 Srní
LIPTÁK, B.G.: Analytical Instrumentation Radnor, Pelsylvania, Cliton Book Comp. 1994

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá měřením vybraných složek ve spalínách, které vznikají při spalování odpadu. Uvádí předepsané horní limity a českou i evropskou legislativu, která reguluje a upravuje provoz spaloven odpadu. Práce se dělí na dvě části, první pojednává o vybraných složkách obecně, legislativě, limitech, měřících přístrojích a uplatňovaných metodách. Druhá část je věnována experimentálnímu měření na různých typech analyzátorů, popisu postupu měření a vyhodnocení výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emise ve spalínách, měření emisí, spalování odpadu, analýza plynu.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on measurement of chosen components in flue gas, which originates during waste incineration. The thesis states ordered maximum limits and Czech as well as European legislation which controls and adjusts operation of waste incineration plants. This thesis is divided into two parts, first deals with legislation, chosen components generally, limits, analysers and used methods. The second part is devoted to experimental measurement using different types of analysers, description of measuring procedure and evaluation of results.

KEY WORDS

Emission in flue gas, emission measurement, waste incineration, gas analysis.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STACH, Vítězslav. *Měření koncentrací vybraných složek ve spalínách* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117043>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce David Jecha.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma "Měření koncentrací vybraných složek ve spalínách" vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Davida Jechy, Ph.D. a uvedl všechny zdroje, které jsem použil.

V Brně dne 25.května 2019

Vítězslav Stach

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Davidu Jechovi, Ph.D. za jeho čas, připomínky a cenné rady při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mi umožnili studium, členům rodiny, přátelům a všem, kteří mi trpěli mé manýry během zpracovávání této práce.

OBSAH

Úvod	12
1 Legislativa	13
1.1 Znečištění a znečišťování	13
1.1.1 Přípustná úroveň znečišťování	13
1.1.2 Posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění	14
1.1.3 Zjišťování a vyhodnocení úrovně znečišťování	14
1.1.4 Jednorázové měření	14
1.1.5 Kontinuální měření	15
1.1.6 Protokol o jednorázovém měření	16
1.1.7 Smogová situace	16
1.1.8 Stanoviska a rozhodnutí orgánu ochrany životního prostředí	16
1.1.9 Povolení provozu	16
1.2 Autorizace	17
1.2.1 Autorizovaná osoba	17
1.2.2 Pověřená osoba	17
2 Sledované znečišťující látky	18
2.1 Oxid uhelnatý CO	18
2.2 Oxidy dusíku NO _x	18
2.3 Oxid siřičitý SO ₂	19
2.4 Tuhé znečišťující látky	19
2.5 Ostatní látky	20
2.5.1 Celkový organický uhlík	20
2.5.2 Chlor a anorganické sloučeniny jako chlorovodík	21
2.5.3 Fluor a anorganické sloučeniny jako fluorovodík	21
2.5.4 Polychlorované dibenzodioxiny PCDD a dibenzoflorany PCDF	21
2.5.5 Rtuť a její sloučeniny	22
2.5.6 Kadmium, thallium a jejich sloučeniny	22
2.5.7 Arsen a jeho sloučeniny	22
2.5.8 Nikl a jeho sloučeniny	23
2.5.9 Zbylé těžké kovy a jejich sloučeniny	23
2.6 Normální složení odpadního plynu	23
2.7 Porovnání emisních limitů	24

3	Nejlepší dostupné techniky pro snižování emise do ovzduší	26
3.1	Vybrané procesy.....	27
3.1.1	Mechanické čištění	27
3.1.2	Čištění od plynných látek	28
3.2	Technické podmínky provozu	29
4	Metody stanovení koncentrací sledovaných zneuct'ujících látek.....	30
4.1	Plynné složky.....	30
4.1.1	Titrace	30
4.1.2	Argentometrická titrace	30
4.1.3	Polarometrie.....	30
4.1.4	Fotometrie.....	31
4.1.5	Chemiluminiscence.....	31
4.1.6	Fluorescence a fosforescence	31
4.1.7	Infračervená spektroskopie	32
4.1.8	Ultrafialová a viditelná spektroskopie	33
4.1.9	Absorpční a kondenzačně–absorpční metoda	33
4.1.10	Elektrochemická analýza	33
4.1.11	Plamenoionizační metoda.....	33
4.1.12	Paramagnetická metoda	34
4.1.13	Iontová kapalinová chromatografie	35
4.1.14	Katalytické spalování	35
4.1.15	Psychometrie	35
4.2	Tuhé znečišťující látky	35
4.2.1	Gravimetrie	35
4.2.2	Impaktory	37
4.2.3	Rozptyl světla.....	37
4.3	Těžké kovy	37
4.3.1	Atomová absorpční spektrometrie AAS	37
4.3.2	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem ICP-OES	38
4.3.3	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem IPC-MS....	38
4.4	PCDD/PCDF.....	38
4.4.1	Plynová chromatografie	38
4.4.2	Hmotnostní spektrometrie	39
5	Analýzátory používané pro stanovení polutantů ve spalínách.....	40

5.1	ABB	40
5.2	Siemens	41
5.2.1	Extraktivní	41
5.2.2	Neextraktivní	41
5.3	TESTO	42
5.3.1	Přístroje.....	42
5.3.2	Senzory.....	42
5.4	TESTA.....	42
5.5	HORIBA.....	42
5.5.1	Přenosné přístroje.....	43
5.5.2	Nepřenosné přístroje	43
5.6	SICK.....	43
5.6.1	Neextraktivní	43
5.6.2	Extraktivní	44
5.7	SAXON.....	44
5.8	Dräger	45
5.8.1	Přístroje.....	45
5.8.2	Senzory.....	45
5.9	Servomex	46
5.9.1	Přenosné přístroje.....	46
5.9.2	Nepřenosné přístroje	46
5.10	Gasmet.....	46
5.11	Mercury Instruments.....	47
5.12	Tekran	47
6	Postupy měření vybraných složek	48
6.1	Zapojení	48
6.2	Postup měření	49
6.2.1	Zapojení	49
6.2.2	Volba měřicího systému	49
6.2.3	Spuštění přístroje	49
6.2.4	Kalibrace	49
6.2.5	Zkouška těsnosti	49
6.2.6	Měření.....	49
6.2.7	Kontrola hranic po skončení měření	50
6.3	Měření citlivosti a posunu	50

6.3.1	Měření citlivosti	50
6.3.2	Měření posunu	50
6.4	Užité přístroje	50
6.4.1	Siemens Ultramat23	50
6.4.2	ABB Uras26	52
6.4.3	Saxon Infralyt50	53
6.4.4	TESTA FID 2010T	53
6.4.5	TESTO 350	53
7	Měření plynných polutantů	55
7.1	Přepočet jednotek.....	55
7.2	Měření citlivosti.....	55
7.3	Měření posunu.....	57
7.4	Náběhová charakteristika	59
7.4.1	Siemens ULTRAMAT23.....	59
7.4.2	ABB Uras26	60
7.4.3	Saxon Infralyt50	61
7.5	Výpočty do protokolu o měření	62
8	Vyhodnocení výsledků	64
8.1	Měření citlivosti.....	64
8.2	Měření posunu.....	65
8.3	Měření náběhových charakteristik	65
8.4	Protokol o měření	66
	Závěr	70
	Seznam použitých zdrojů.....	71
	Seznam použitých obrázků.....	77
	Seznam použitých tabulek.....	77
	Seznam příloh	79
	Seznam použitých zkratk.....	80

ÚVOD

V dřívějších časech se nehledělo na znečišťování okolí, a proto nebývala energetická zařízení vybavována jakoukoli technologií pro čištění spalín. Od té doby již lidstvo ušlo kus cesty a celý svět si uvědomuje neblahý vliv, jaký mají lidmi vypouštěné emise na podnebí, ekosystém světa a zdraví lidí. S trochou nadsázky se celý svět snaží bojovat proti zhoršování lokální i globální klimatické situace. S tímto tématem úzce souvisí i to zaměřené v této práci. Možnosti zpracování odpadu jsou omezené a vhodné využití může nalézt ve spalovnách, které jej zužitkují na výrobu tepelné energie.

V České republice se momentálně vyskytují čtyři spalovny komunálního odpadu. K těmto velkým se přidává také dvacet dva menších, které slouží pro spalování průmyslového a zdravotnického odpadu a pět cementáren s povolením pro spoluspalování odpadu [1]. K momentálně se vyskytujícím spalovnám komunálního odpadu by mohly podle posledních zpráv přibýt až tři další poté, co se najdou správní investoři [2].

Díky vývoji technologií na odstraňování nežádoucích látek ze spalín, se již není třeba těchto míst bát tak, jako tomu bývalo dříve. Toto téma rozebírají už vypracované práce [3] a Evropská unie k nim vydává doporučení nejvhodnějších technik [4] [5]. A to, co ve spalínách zbyde, je podrobně sledováno. Na toto téma se zaměřuje tato práce. Zadáním je popis technik a metod na měření látek unikajících do ovzduší, jejich zjištění, výběr používaných a nabízených přístrojů pro tuto činnost a postupů samotného měření. Z již vypracovaných prací se jedna zaměřuje hlavně na konstrukci analyzátorů [6], dále vznikly další týkající se spalín produkovaných automobily a jejich měření na Stanicích technické kontroly [7] a také s tématem na měření tuhých znečišťujících látek [8].

Tato práce uvádí aktuální zákony, připravovaná nařízení a doporučení Evropské unie, metody a principy stanovení emisí, používané a dostupné přístroje na analýzu koncentrace sledovaných látek, postupy jejich určení a praktické měření pro porovnávání citlivosti vybraných analyzátorů na zkušební směsi plynů.

1 LEGISLATIVA

Česká legislativa upravuje vztahy k emisím vnášených do ovzduší zákonem o ochraně ovzduší [9] z roku 2012 a vyhláškou [10] z roku 2012 upravující limity znečišťování. Evropské poměry určuje nařízení evropského parlamentu [5] z roku 2006, které se změnilo nadcházející úpravou pro spalovny odpadu [4], jež je právě v rozpracované fázi.

„Ochranou ovzduší se rozumí předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší [9].“

1.1 Znečištění a znečišťování

V této kapitole dochází k popisu základních postupů, zákonitostí a vztahů, které připadají Ministerstvu životního prostředí a jednotlivým subjektům podílejícím se na činnosti spojené se znečišťováním. Měření je prováděno kontinuálně nebo jednorázově v závislosti na sledované látce. Kontinuální měření zajišťuje osoba spravující provoz stacionárního zdroje, jednorázovým měřením jsou pověřeny osoby autorizované disponující vlastní měřicí technikou. Sledují se látky dle tabulky (Tabulka 1).

Tabulka 1 Sledované látky

Způsob sledování	Látka	Denní průměr [mg/m ³]
Kontinuální	TZL	10
	NO _x	200
	SO ₂	50
	TOC	10
	HCl	10
	HF	1
	CO	50
Jednorázový	Cd+Tl	0,05
	Hg	0,05
	Sb+As+Pb+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	0,5
	PCDD/PCDF [ngTEQ/m ³]	0,1

1.1.1 Přípustná úroveň znečišťování

Přípustná úroveň znečišťování je definována pomocí emisního limitu, emisního stropu a technických podmínek. Emisní limit je nejvyšší přípustné množství znečišťující látky vnášené do ovzduší ze stacionárního zdroje a emisní strop je nejvyšší přípustné množství znečišťující látky vnesené do ovzduší za kalendářní rok. Emisní limity mohou být stanoveny obecně pro znečišťující látky a jejich skupiny, nebo specifiky pro

stacionární zdroje. Obecné emisní limity se nevztahují na stacionární zdroje se stanovenými specifickými emisními limity, či emisními stropy. Emisní limity jsou doplňovány emisními stropy. Vyhláškou [10] jsou stanoveny emisní limity, způsoby jejich stanovení a další podmínky emise škodlivých látek do ovzduší.

1.1.2 Posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění

MŽP zodpovídá za posuzování úrovně znečištění vzhledem k imisním limitům. Imisní limit je nejvyšší přípustná úroveň znečištění v konkrétním místě. Úroveň znečištění může být posuzována stacionárním měřením, výpočtem nebo jejich kombinací. Posléze je ministerstvem provedeno hodnocení, zda k překročení mezí pro posuzování úrovně znečištění došlo. K tomuto účelu je ustavena státní síť imisního monitoringu, která je provozována ministerstvem a zveřejněna na Věstníku Ministerstva životního prostředí [11].

1.1.3 Zjišťování a vyhodnocení úrovně znečišťování

Měření úrovně znečišťování se provádí až v místě, za kterým nedochází ke změně složení odpadních plynů, nebo které je přesně definováno obsahem referenčního kyslíku. Měří se v každém komínu, či výduchu. Jednorázová měření se provádí prostřednictvím autorizované osoby v intervalech daných prováděcím právním předpisem ČSN EN 15259 [12]. Úroveň znečišťování se zjišťuje výpočtem na rozhodnutí krajského úřadu, nebo z nedostupnosti technických prostředků. Česká inspekce životního prostředí provádí kontroly, zda dochází k plnění emisních limitů a zjišťování úrovně znečišťování, ty však nijak nenarušují harmonogram provozovatele prováděných měření. Proto má MŽP založený informační systém [13], ve kterém jsou shromažďovány veškeré záznamy a protokoly o měření. Výsledky všech měření jsou přepočteny k normálním stavovým podmínkám (293 K, 101,325 kPa), k suchému plynu a obsahu referenčního kyslíku rovnu 11 % (čistě v případě spaloven odpadu). Přepočet ke koncentraci kyslíku se neprovádí při spalování v atmosféře obohacené kyslíkem a nedojde-li k překročení jeho hodnoty referenčního obsahu (platí pro spalování nebezpečného odpadu).

1.1.4 Jednorázové měření

Tato měření jsou prováděna vždy po nahlášení inspekci alespoň pět pracovních dní předem a provádí je osoba k tomu autorizovaná. Vše je organizováno ze strany provozovatele. Zákon ukládá měření provést:

- v průběhu prvních tří měsíců po uvedení zařízení do provozu, změně paliva, nebo zásahu do konstrukce, jenž by ovlivnil emise a měření,
- během prvních dvanácti měsíců provozu čtyřikrát s maximálním intervalem mezi jednotlivými měřeními tři měsíce,
- dvakrát ročně s maximální prodlevou mezi měřeními šest měsíců.

Jednorázové měření emisí se provádí pro:

- kadmium a jeho sloučeniny,
- rtuť a její sloučeniny,
- olovo a jeho sloučeniny,
- arsen a jeho sloučeniny,
- všechny těžké kovy,

- PCDD a PCDF (polychlorované dioxiny a furany), polychlorované bifenylly, benzo(b)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren a benzo(k)fluoranten.

Doba trvání jednorázového měření musí být:

- v případě těžkých kovů 0,5÷8 hodin,
- v případě PCDD/F 6÷8 hodin.

Výsledky se vyjadřují v závislosti na metodě jako:

- průměr hodnot jednotlivých vzorků odebraných manuálně,
- průměr hodnot za půlhodinu měření po přepočtu na referenční podmínky při užití přístrojů pro kontinuální měření,
- průměr hodnot za patnáct minut měření po přepočtu na referenční podmínky při užití přístrojů s elektrochemickými články.

Emisní limit je považován za dodržený, pokud žádná hodnota nepřekročí stanovený specifický limit.

1.1.5 Kontinuální měření

K tomuto měření dochází neustále, provádí jej provozovatel. Veškeré informace poskytuje inspekci a je povinen zajistit kontrolu přesnosti tohoto měření. Ta je prováděna autorizovanou osobou alespoň jednou za tři roky. Kontinuálně se provádí měření:

- oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, tuhých znečišťujících látek (TZL), celkového organického uhlíku (TOC), plynných anorganických sloučenin chloru, plynných anorganických sloučenin fluoru a oxidu siřičitého,
- amoniaku, jsou-li používány procesy čištění odpadních spalin, které ho využívají,
- provozních parametrů procesu spalování odpadu, jako jsou: teplota spalin v blízkosti vnitřní stěny, či jiném reprezentativním místě, koncentrace kyslíku, tlaku a teploty v odváděném vyčištěném odpadním plynu a vlhkosti, pokud nedochází k vysoušení.

Avšak od kontinuálního měření lze upustit a nahradit jej jednorázovým:

- v případě fluoru, jestliže dochází k čištění od anorganických sloučenin chloru, nebo je implementován technologický proces zajišťující nepřekročení specifických emisních limitů plynných anorganických sloučenin chloru,
- v případě chloru, fluoru a oxidu siřičitého, jestliže provozovatel může prokázat nemožnost překročení specifických limitů pro tyto látky.

Výsledky kontinuálních měření se vyjadřují jako průměry určitých časových úseků. Jedná se o denní průměr, půlhodinový průměr a deseti minutový průměr. Během půlhodinových průměru musí dojít k zprůměrování alespoň dvaceti minutových průměrů jako aritmetický průměr středních hodnot. Z těchto hodnot se určí denní průměr. Pro jeho přesné získání nesmí být vynecháno více než pět půlhodinových měření. Dnů, kdy nedošlo z technických nebo jiných důvodů k měření, může být maximálně deset ročně. Dále vyhláška stanoví, kolik takovýchto průměrů nesmí překročit určitý specifický limit. Takovéto hranice se vyjadřují v procentech. Pro získání validovaných výsledků, které se porovnávají s emisními limity, se od naměřených hodnot odečítá:

- 10 % u oxidu uhelnatého (CO),
- 20 % u oxidu siřičitého (SO₂),
- 20 % u oxidů dusíku (NO_x),

- 30 % u tuhých znečišťujících látek (TZL),
- 30 % u celkového organického uhlíku (TOC),
- 40 % u chlorovodíku,
- 40 % u fluorovodíku,

ze specifického emisního limitu.

Zvolené přístroje musí dokázat pracovat v rozsahu 10÷250 % emisního limitu, nebo 10÷250 % koncentrace garantované výrobcem zařízení pro snižování emisí, je-li užito.

1.1.6 Protokol o jednorázovém měření

O každém jednorázovém měření je autorizovanou metodou zpracován protokol, který musí provozovateli dodat do 60 dnů ode dne měření. Inspekci musí být protokol doručen do 90 dní ode dne měření. Protokol musí obsahovat:

- datum měření a datum vystavení protokolu,
- jména osob provádějících měření,
- jméno a podpis osoby zodpovědné za správnost měření a zpracování protokolu,
- identifikace provozovatele stacionárního zdroje,
- účel měření,
- předmět měření (popis zdroje), další údaje (technologické vstupy a výstupy) a hodnoty proměnných parametrů zařízení ke snižování emisí,
- umístění měřicího místa, porovnání s normovanými požadavky,
- rozsah měření (měřené veličiny), uplatněné metody a normované postupy,
- použitá technika a kalibrační materiály,
- oblast spolupráce (informace o spolupracujícím akreditovaném subjektu),
- údaje o průběhu měření (odběry, měření a hodnoty provozních veličin),
- výsledky měřených veličin a také těch doprovodných,
- seznam použitých dokumentů (normy, zákony, předpisy) a značek,
- vyhodnocení výsledků vůči emisním limitům a doprovodným podmínkám měření, hmotnostní tok a výrobní emise.

1.1.7 Smogová situace

Vyhlásí-li MŽP smogovou situaci, může krajský úřad nařídit plnění zvláštních podmínek provozu všem stacionárním zařízením. Ty jsou stanoveny při vydávání povolení k provozu a berou zřetel na možnosti zařízení v dalším omezení emisí.

1.1.8 Stanoviska a rozhodnutí orgánu ochrany životního prostředí

Ke všem stacionárním zdrojům jsou vydávána stanoviska státních orgánů. Krajský úřad vydává závazné stanovisko k územnímu plánu obce, ve které se vyskytuje, k umístění, k provedení stavby stacionárního zdroje a k povolení jeho provozu. Dojde-li k překročení imisních limitů v obci umístění stacionárního zdroje pak vydává MŽP závazné stanovisko, které stanoví kompenzační opatření pro úpravu emisních limitů.

1.1.9 Povolení provozu

Povolení provozu spalovny odpadu vydává krajský úřad a musí obsahovat:

- emisní limity a stropy,

- způsob, podmínky a četnost zjišťování úrovně znečišťování,
- provozní řád,
- technické podmínky provozu,
- zvláštní podmínky provozu,
- kompenzační opatření,
- stanovení množství a kategorií spalovaného nebezpečného odpadu, minimální a maximální spalné teplo a maximální obsah znečišťujících látek v něm,
- podmínky pro zkušební provoz.

Povolení provozu je vydáno na dobu omezenou, nejdéle však na dvacet pět let. Může být upraveno krajským úřadem ve smyslu zpřísnění emisních limitů. K jeho zrušení dojde, není-li bez závažných podmínek využíváno po dobu delší osmi let.

1.2 Autorizace

Tato kapitola se zaměřuje na vyčlenění toho, kdo to je autorizovaná a pověřená osoba, jak se touto osobou může někdo stát a jaké jsou její práva a povinnosti.

1.2.1 Autorizovaná osoba

Autorizovaná osoba má povolení provádět a provádí jednorázová měření. Osoba může být autorizována MŽP po dohodě s Ministerstvem zemědělství a po splnění všech podmínek na kvalifikaci, přičemž je způsobilá k:

- jednorázovému měření emisí,
- měření úrovně znečištění,
- dohledu nad tepelným zpracováním odpadu,
- zpracování odborného posudku,
- zpracování rozptylové studie,
- ověřování zpráv o emisích.

Pro vykonávání každého úkonu platí zvlášť akreditace a na ty se vztahují zvláštní podmínky. Autorizace je vydávána na dobu neurčitou po splnění všech předpokladů a může být odebrána při neplnění povinností, nebo podstatnou úpravou podmínek autorizace. Mezi základní povinnosti autorizované osoby patří:

- neprovádět jednorázové měření emisí na stacionárním zařízení, na jehož vlastnictví se třeba jen podílí, zaujímá pozici ve vlastníčí právnické osobě, nebo vlastníkem zařízení je insolvenční správce či likvidátor majetku,
- vypracovávat protokoly o měření, odevzdávat je objednateli a předávat výsledky do informačního systému kvality ovzduší,
- podrobovat se kontrolám výkonu činnosti.

1.2.2 Pověřená osoba

Jako zástupci MŽP vystupují pověřené osoby, které vykonávají svou činnost na základě zřizovací listiny, nebo veřejnoprávní smlouvy a mají dostatečné znalosti na jejich výkon. Podmínkou je vydávání všech vyžádaných listin a dokumentů MŽP. Ministerstvo zemědělství může pověřit také právnickou osobu, ty jsou zveřejněny na Věštníku Ministerstva zemědělství [14]. Tyto osoby zastupují MŽP při kontrolách a mohou si vyžádat dokumentaci o provozu zařízení.

2 SLEDOVANÉ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Zákon ukládá specifický emisní limit pro spalovny odpadu pro každou znečišťující látku. Tyto limity jsou uvedeny ve vyhlášce a je možné, že budou změněny nadcházející úpravou vznikající v parlamentu evropské unie.

2.1 Oxid uhelnatý CO

Nejvíce tohoto plynu vzniká užíváním dopravních prostředků, až sedmdesát tři procent [15]. Jeho vznik je zapříčiněn nedokonalým spalováním uhlíku. Postupem času se takto uvolněný plyn v ovzduší samovolnými procesy oxiduje na oxid uhličitý. Za běžných podmínek se vyskytuje v plynném skupenství, postrádá jakýkoli zápach, chuť a barvu. Pro člověka je prudce jedovatý, protože se váže na hemoglobin v červených krvinkách mnohem snáze, než kyslík, jehož nedostatek tímto způsobuje [16].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu této látky v emisích kontinuálně a určuje jeho emisní limit jako denní průměr dle tabulky (Tabulka 2).

Tabulka 2 Emisní limit pro oxid uhelnatý

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Průměry		
	Denní	Půlhodinový	10minutový
		100 %	95 %
CO	50	100 ¹⁾	150 ¹⁾
¹⁾ platí jen pro spalovny odpadu specifické konstrukce			

2.2 Oxidy dusíku NO_x

V atmosféře se běžně vyskytuje oxid dusný (N₂O), který je relativně nereaktivní a vzniká přirozenými procesy v přírodě. Při spalovacích procesech za vysokých teplot (~1300 °C) vznikají oxidací vzdušného dusíku (N₂) oxidy dusíku (NO_x), kam se řadí oxid dusitý (N₂O₃), tetraoxid dusíku (N₂O₄), oxid dusičný (N₂O₅) a nejčastěji se vyskytující oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Oxid dusnatý po uvolnění do atmosféry samovolně oxiduje na oxid dusičitý. Oxid dusnatý a oxid dusičitý jsou za normálních podmínek v plynném skupenství, oxid dusnatý bezbarvý, oxid dusičitý červenohnědého zbarvení. Zatěžují respirační a kardiovaskulární systém, v případě krátkého vystavení se jejich působení vzrůstá reaktivita dýchacích cest a snížení obranyschopnosti vůči infekci a při delším pobytu v jejich přítomnosti nastává smrt. Opakovaný výstav jejich působení způsobuje fibrózu plic a může zvyšovat výskyt nádorového onemocnění. Přispívají ke vzniku kyselých dešťů, úhynu ryb a nežádoucímu nárůstu vodních rostlin. Poškozují živé rostliny, zemědělské rostliny

nevyjímaje. Oxid dusitý (NO) je řazen ke skleníkovým plynům a přispívá k oteplování planety [15] [17] [18].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích kontinuálně a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 3).

Tabulka 3 Emisní limit pro oxidy dusíku

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 %	100 %
NO _x	200	200	400

2.3 Oxid siřičitý SO₂

Tato látka vzniká hlavně v energetickém průmyslu a dopravních prostředcích. Za normálních podmínek se vyskytuje v plynném skupenství, je bezbarvá, snadno rozpustná ve vodě, dráždivá a charakteristického zápachu. Při krátké expozici dochází k podráždění sliznic dýchacích cest, zúžení průdušek, nadprodukcí hlenu a omezení funkce plic. Může nastat ovlivnění srdeční činnosti a autonomního nervového systému. Oxid siřičitý je pro rostliny toxický a přičiňuje se k vzniku kyselých dešťů [15] [19].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu této látky v emisích kontinuálně a určuje jeho emisní limit dle tabulky (Tabulka 4).

Tabulka 4 Emisní limit pro oxid siřičitý

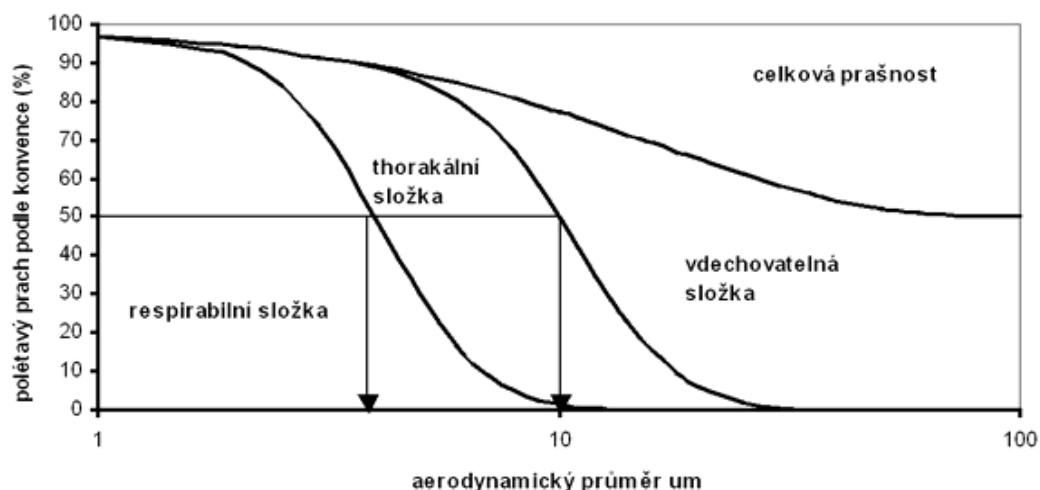
Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 %	100 %
SO ₂	50	50	200

2.4 Tuhé znečišťující látky

Mezi tyto látky se řadí částice různých rozměrů, od 10 nm až po 100 μm v průměru, avšak většina se jich pohybuje v rozmezí velikostí 0,1 – 10 μm. Nazývají se také prachem. Jejich charakter je velice rozličný a mohou být organického i anorganického původu. Dlouhodobé vystavování se vlivu těchto částic způsobuje zvýšení úmrtnosti a nutnosti hospitalizace, hlavně kvůli ovlivnění respiračního systému. Jejich toxicita závisí hodně na jemnosti, malé velikosti ovlivňují srážlivost krve [15] [20].

Dle velikosti se určuje dosah částic TZL. Graf (Obrázek 1) tento dosah ilustruje. Vdechovatelná složka vstoupí do lidského těla při nádechu, nosem a ústy. Thorakální složka dokáže proniknout až za hrtan a pod respirabilní složku spadají nejmenší částice pronikající až do oblastí bez řasinkového epitelu (plicní váčky a sklípky) [20].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu této látky v emisích kontinuálně a určuje jeho emisní limit dle tabulky (Tabulka 5).



Obrázek 1 Graf dosahu TZL dle rozměru [21]

Tabulka 5 Emisní limit pro TZL

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 %	100 %
TZL	10	10	30

2.5 Ostatní látky

Ve spalínách se vyskytuje mnohem více nebezpečných a znečišťujících látek. Zákon na ně samozřejmě pamatuje a patří mezi ně všechny těžké kovy, sloučeniny fluoru, chloru, organické sloučeniny uhlíku, polychlorované dioxiny PCDD a polychlorované furany PCDF.

2.5.1 Celkový organický uhlík

Soubor látek často označovaný zkratkou TOC z anglického *total organic carbon*. Spadají do něj všechny organické sloučeniny kromě metanu. Řadí se sem hlavně těkavé organické látky, do nichž patří alkany, alkeny, karbonyly, alkoholy a různé kyseliny [22].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích kontinuálně a určuje jeho emisní limit dle tabulky (Tabulka 6).

Tabulka 6 Emisní limity pro TOC

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 %	100 %
TOC	10	10	20

2.5.2 Chlor a anorganické sloučeniny jako chlorovodík

Chlorovodík tvoří vysoce korozivní plyn, jeho působením vznikají chloridy. Vzniká při spalování plastů. Díky svému velmi intenzivnímu zápachu jsou tyto sloučeniny snadno identifikovatelné a dá se vyvarovat dlouhé expozici jejich působení. Chlor při kontaktu s vodou tvoří chlorovodík, který silně dráždí sliznice dýchacích cest, zapříčiňuje jejich popraskání, dává vzniku tekutiny v plicích (edému) a může dojít i k udušení. Pálí kůži i oči až do nenapravitelného poškození, dlouhou expozicí ničí nenávratně plíce a zuby a vyvolává vyrážky. V případě úniku do životního prostředí dokáže popálit živé organismy, narušit stavby z kovu i jiných materiálů a přispívá ke kyselosti dešťů [15] [23].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích kontinuálně a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 7).

Tabulka 7 Emisní limit pro chlor a jeho sloučeniny

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 %	100 %
HCl	10	10	60

2.5.3 Fluor a anorganické sloučeniny jako fluorovodík

Přírodními procesy se tyto látky do životního prostředí nedostávají, jen lidskou činností, a to hlavně při výrobě jeho sloučenin, užití vysokoteplotních procesů nebo spalování látek, jež ho obsahují. Podobně jako chloru se mu dá díky jeho zápachu snadno vyvarovat a rychle tvoří fluorovodík v reakci s molekulami vody. Způsobuje popálení očí, kůže, podráždění dýchacích cest a nadprodukcí vody v plicích (edém) [24].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích kontinuálně a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 8).

Tabulka 8 Emisní limit pro fluor a jeho sloučeniny

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]		
	Denní průměr	Půlhodinové průměry	
		97 %	100 %
HF	1	2	4

2.5.4 Polychlorované dibenzodioxiny PCDD a dibenzoflorany PCDF

Látky tohoto typu se v přírodě běžně nevyskytují, vznikají jen při spalování organických látek obsahujících chlór. Postup jejich vzniku ještě není podrobně vyjasněn. Tyto látky mají vlastnost se akumulovat v organismu a vynikají svou toxicitou, mutagenním chováním a karcinogenitou. Nebezpečné jsou už i ve stopovém množství a vyvolávají nevolnost, zvracení a poškození jater [25] [26].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích jednorázově a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 9).

Tabulka 9 Emisní limit pro PCDD a PCDF

Znečišťující látka	Emisní limit [ngTEQ/m ³]
PCDD/F	0,1

2.5.5 Rtut' a její sloučeniny

Rtut' (Hg) se spolu s dalšími prvky (zmíněnými v dalších kapitolách) řadí do skupiny těžkých kovů. Za pokojové teploty je v tekutém stavu, ale může se v atmosféře vyskytovat i v plynné fázi [27]. Rtut' patří k bioakumulativním prvkům, tedy se po infekci nevytratí nikam z žijícího jedince a působí jako účinný neurotoxin. Její působení se může různit, od necitlivosti rukou a nohou, přes svalovou slabost až po zešlivení a smrt. Není přesně zjištěno, jaké konkrétní škody činí tento kov, proto je nutný další výzkum [28].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích jednorázově a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 10).

Tabulka 10 Emisní limit pro Hg

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]
Hg	0,05

2.5.6 Kadmium, thallium a jejich sloučeniny

Využití těchto prvků se limituje, kvůli jejich vysoké toxicitě a faktu, že se oba řadí mezi vzácné kovy [27]. Mají dlouhý biologický poločas, proto je téměř nemožné je odstranit z těla, jakmile jsou do něj vneseny. Usazují se hlavně v játrech, která poškozují a způsobují snížení sekrece inzulínu, ohrožují reprodukci, imunitní a kardiovaskulární systém a častým vdechováním pomáhají vzniku rakoviny plic [18].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích jednorázově a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 11).

Tabulka 11 Emisní limit pro Cd a Tl

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]
Cd, Tl	0,05

2.5.7 Arsen a jeho sloučeniny

Arsen (As) je polokov a k těžkým kovům se řadí pro své podobné vlastnosti a účinky na lidský organismus. Nárazovým zvýšením svého výskytu v ovzduší může indikovat začátek topné sezóny a užívání fosilních paliv. Jeho hlavní užití můžeme nalézt v metalurgickém průmyslu a při výrobě polovodičů [27] [29]. Arsen se hlavně usazuje v kůži a jejích derivátech a jeho vylučování se děje převážně močí. Způsobuje poruchy nervového, trávicího a cévního systému, tvoří vyrážky na kůži a poškozují DNA.

Jakožto karcinogen vyvolává hlavně rakovinu plic, protože se jedná o nejčastější způsob jeho požití [18].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích jednorázově a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 12).

Tabulka 12 Emisní limit pro As

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]
As	0,05

2.5.8 Nikl a jeho sloučeniny

Nikl (Ni) dráždí a poškozuje dýchací cesty a vyvolává různé imunologické reakce, jeho nebezpečí může být vyšší v případě těhotných matek a plodu, protože snadno proniká jeho ochrannou bariérou. Karcinogenní chování vykazují ve velkém také jeho sloučeniny jejichž cílem je respirační systém a vyvolávají rakovinu plic [18].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích jednorázově a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 13).

Tabulka 13 Emisní limit pro Ni

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]
Ni	0,05

2.5.9 Zbylé těžké kovy a jejich sloučeniny

Pod zbylé těžké kovy, jež nebyly popsány v předcházejících kapitolách, se řadí antimon (Sb), olovo (Pb), chrom (Cr), kobalt (Co), měď (Cu), mangan (Mn) a vanad (V). Vykazují také značné karcinogenní účinky a jsou hojně využívané, přičemž se uvolňují spalováním fosilních paliv a odpadu, při úpravách kovů obecně a zpracování cementu a skla [27].

Zákon o ochraně ovzduší vyhláškou 415/2012 sb. stanovuje povinnost měření výskytu těchto látek v emisích jednorázově a určuje jejich emisní limit dle tabulky (Tabulka 14).

Tabulka 14 Emisní limity těžkých kovů Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, V

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m ³]
Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, V	0,05

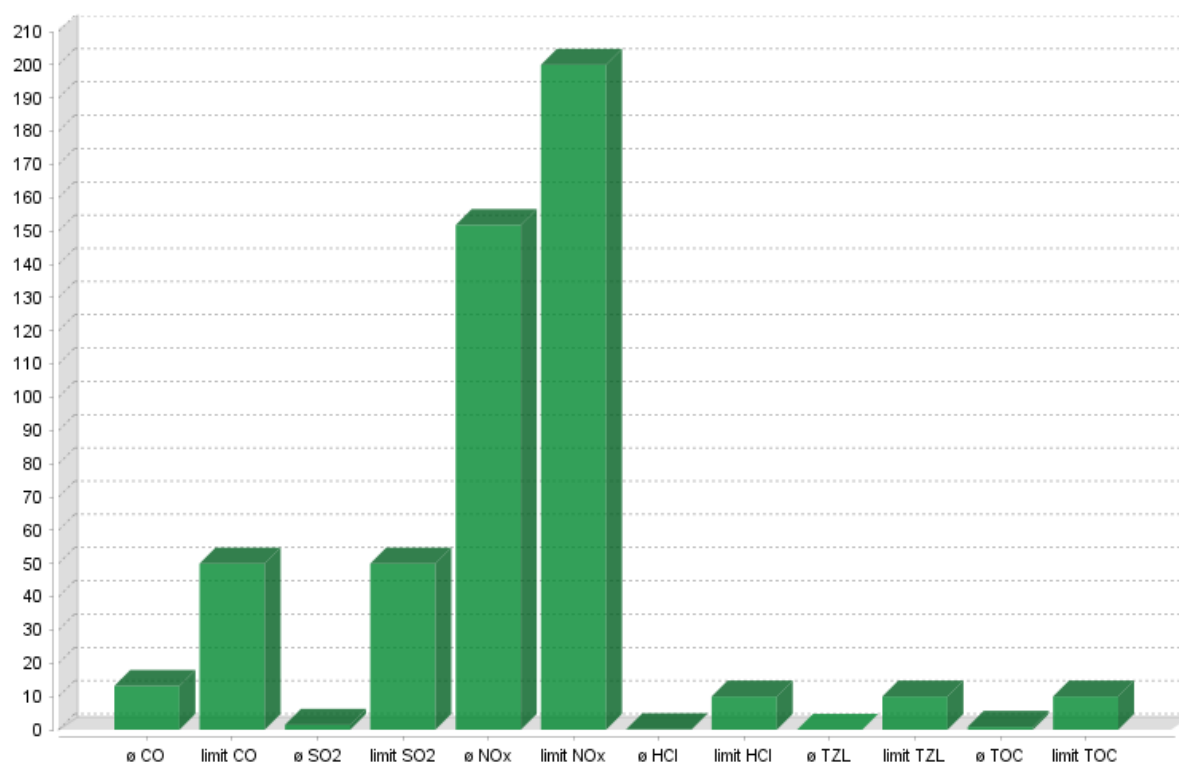
2.6 Normální složení odpadního plynu

I přesto, že se nedá spolehlivě určit, jaké se budou ze spalovaného odpadu uvolňovat znečišťující látky, lze stanovit předpokládané složení odpadního plynu. Vyplývá ze statistik a postupů pro snižování emisí. Složení v tabulce (Tabulka 15) platí pro spaliny na výstupu ze spalovny odpadu a je víceméně orientační a slouží k výběru nejvhodnější metody pro měření emisí. Tabulka také zobrazuje předpokládanou teplotu a obsah kyslíku (O₂), vody (H₂O) a oxidu uhličitého (CO₂) v odpadním plynu vycházejícím ze spalovny odpadu [30].

Tabulka 15 Předpokládané složení odpadního plynu

Sledovaná látka/veličina	Množství
TZL	0÷20 mg/m ³
TOC	0÷20 mg/m ³
HCl	0÷20 mg/m ³
HF	0÷20 mg/m ³
SO ₂	0÷100 mg/m ³
CO	0÷250 mg/m ³
NO _x	0÷500 mg/m ³
CO ₂	3÷15 % v suchém plynu
H ₂ O (plynná fáze)	10÷35 %
O ₂	3÷17 % v suchém plynu
Teplota	50÷200 °C

Pro představu, jaké hodnoty emisí jsou vypouštěny, poslouží graf (Obrázek 2). Zobrazuje porovnání naměřené hodnoty konkrétní látky jako průměr při měření a limit stanovený pro danou látku v mg/m³.



Obrázek 2 Hodnoty monitorovaných emisí ZEVO Praha v mg/m³ [31]

2.7 Porovnání emisních limitů

V tabulkách (Tabulka 16, Tabulka 17) jsou vypsány aktuální emisní limity v porovnání s pravděpodobně budoucími. Ty se různí pro nová a stávající zařízení na spalování odpadu. Emisní limity budou zpřísněny hlavně pro nová zařízení a v případě těžkých

kovů. Dojde k zavedení kontinuálního měření rtuti pro případy, kdy nebude možno prokázat její nízkou nebo konstantní emisivitu [4] [10].

Tabulka 16 Porovnání aktuálních a nastávajících emisních limitů 1/2

Látka	Vyhláška 415/2012 sb.	Denní průměr [mg/m ³]	
		Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration	
		Stávající zdroje	Nové zdroje
TZL	10	<2÷7	<2÷5
NO _x	200	50÷150	50÷120
SO ₂	50	5÷40	5÷30
TOC	10	<3÷10	<3÷10
HCl	10	<2÷8	<2÷6
HF	1	<1	<1
CO	50	10÷50	10÷50
NH ₃ ¹⁾	-	2÷10	2÷10

¹⁾Platí pro kontinuální měření při užití technologií SCR, SNCR

Tabulka 17 Porovnání aktuálních a nastávajících emisních limitů 2/2

Látka	Vyhláška 415/2012 sb.	Emisní limit [μg/m ³]	
		Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration	
		Stávající zdroje	Nové zdroje
Cd+Tl	50	5÷20	5÷20
Hg	50	1÷10	1÷10
	-	<15÷40 ¹⁾	<15÷35 ¹⁾
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	500	10÷300	10÷300
PCDD/PCDF [ngTEQ/m ³]	0,1	<0,01÷0,08	<0,01÷0,06

¹⁾Platí pro půl hodinové limity kontinuálního měření

3 NEJLEPŠÍ DOSTUPNÉ TECHNIKY PRO SNIŽOVÁNÍ EMISE DO OVZDUŠÍ

Dokumenty BREF obsahující aktuálně používané a doporučení nejlepších dostupných technik jsou vydávány Evropskou unií zvlášť pro různé provozyp vypouštějící emise v jakékoli podobě. Z anglického názvu *Best Available Techniques* vznikla zkratka BAT pro pojmenování nejlepších dostupných technik. Dělí se podle znečišťovaného prostředí (voda, ovzduší) a na energetická doporučení provozu. Informace vycházejí z dříve vydaného platného dokumentu [5] a jsou upravovány dle nového právě připravovaného [4].

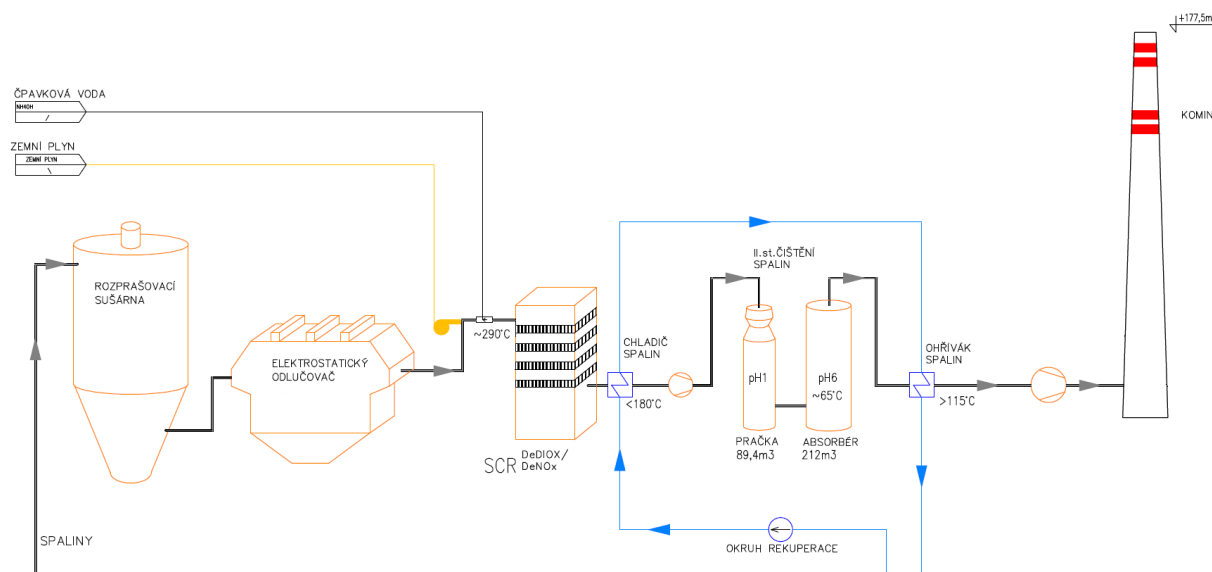
Tabulka 18 **Techniky pro snížení emise do ovzduší**

Technika	Popis
Rukávcová filtrace	Rukávcové filtry k zachycení prachu
Vstřikování sorbentu do kotle	Snížení síry, halogenů a srovnání píků
Katalytická rukávcová filtrace	Upravené filtry k zachycení NO _x , PCDD/F
Přímé odsíření	Odstranění síry v peci
Vstřikování suchého sorbentu	Odstranění kyselých plynů, rtuti a PCDD/F
Elektrostatická filtrace	V suchém, či mokřém provedení na odstranění prachu
Absorpce na filtračních náplních	Koks nebo aktivní uhlí odstraňuje polutanty
Recirkulace výfukových plynů	Snížení teploty a obsahu kyslíku v peci
Selektivní katalytická redukce (SCR)	Snížení obsahu NO _x pomocí amoniaku
Selektivní nekatalytická redukce (SNCR)	Snížení obsahu NO _x pomocí amoniaku
Polo mokřé absorbéry	Odstranění kyselých plynů jejich neutralizací
Mokřé praní	Odstranění obsahu prachu, rtuti, PCDD/F a částečně kyselých plynů

Tabulka (Tabulka 18) ukazuje nejvhodnější techniky a postupy pro snižování emise do ovzduší doporučené dokumenty BAT. Kromě výběru vhodných technik pro snižování obsahu látek v odpadním plynu patří mezi nejlepší dostupné techniky také:

- sledování množství odchozího plynu, koncentrace kyslíku, tlaku, teploty a vlhkosti,
- čtvrtletní měření ztrát při spalování a obsahu celkového organického uhlíku v popelu,
- dělení odpadu podle jeho složení, krytí vůči povětrnostním podmínkám a úniku zápachu,
- užívání vodních sprch proti prachu,
- sledování vlhkosti odpadu,
- přímé automatické podávání odpadu,

- čištění znovupoužitelných kontejnerů,
- promíchávání odpadu,
- včasné identifikování nebezpečných složek odpadu,
- optimalizace celého procesu.



Obrázek 3 Schéma systému čištění odpadních plynů ZEVO Praha [32]

Na obrázku (Obrázek 3) je schématické zobrazení postupu čištění odpadního plynu vypouštěného z pražské spalovny odpadu. Spaliny postupně odcházejí přes rozprašovací sušárnu, elektrostatický odlučovač, zařízení na SCR procesy, kyselou pračku a absorbér do komína, do kterého ústí ve výšce 8,5 m.

3.1 Vybrané procesy

Způsoby odstraňování znečišťujících látek se liší pro tuhé látky a plyny. Lze je základně rozdělit na mechanické a ty na odstraňování plynných složek.

3.1.1 Mechanické čištění

Tuhé látky stačí zpravidla zastavit v postupu dále odpadním potrubím, není nutné, aby zreagovaly s jinou látkou a neutralizovaly se.

Elektrostatická filtrace

V jiné literatuře označována také jako elektrostatická precipitace. Odpadní plyn prochází komorou, ve které dojde k nabití tuhých částic nábojem. Takto nabité částice jsou poté přitaženy ke stěnám nabitým nábojem opačným. Na nich dochází k jejich sběru. Tato metoda hodně závisí na elektrickém odporu částic a obsahu síry, která zamezuje nabití prachových částic. Elektrostatické filtry mohou být kombinovány s mokřým prostředím a sběrem na principu kondenzace. Suché elektrostatické filtry pracují optimálně v rozmezí teplot 160÷260 °C.

Rukávcová filtrace

Skupina filtrů ve tvaru rukávů s vnitřními komorami zachytává částice v odpadním plynu, který přes ně prochází. Vyznačuje se značnou účinností a potřebou výměny při jejich naplnění, aby nedošlo k protržení. Materiál pytlů je nutno vybírat s ohledem na jeho odolnost vůči teplotě, vlhkosti, kyselinám a alkaloidům v plynu a mechanické námaze při čištění. Mohou být impregnovány reaktivními látkami k zabránění průchodu oxidů dusíku a PCDD/F.

Cyklony a multicyklony

Přívodem odpadních plynů pod určitým úhlem do cyklonové jednotky dojde k vytvoření víru – cyklonu. Odstředivými silami jsou větší částice díky své hmotnosti natlačeny na stěny a sebrány. Užívá se jedna velká, nebo více malých jednotek. Často zapojeno v kombinaci s dalšími metodami pro odstranění i drobnějšího prachu.

3.1.2 Čištění od plynných látek

Čištění spalin od plynných součástí se zpravidla dělí na suché, polo mokré a mokré procesy. Každý typ postupu vyniká jinými vlastnostmi a využitími. K odstranění oxidů dusíku se často používají také SCR a SNCR procesy.

Mokré procesy

Při tomto postupu jsou užívány různé konstrukce vypírek (např. tryskové, Venturiho, nebo rotační). Jako kapalně médium je v první fázi většinou jen voda a dochází k vyčištění od fluoru a chloru. Prostředí je vysoce kyselé s pH kolem 0÷1. V druhé fázi je odpadní plyn čištěn od síry a zbylých halogenových prvků vodou, nebo slabými roztoky alkalických činidel. Kyselost prostředí je udržována na neutrální úrovni. Další zásadité složky jsou užívány k neutralizaci odpadních roztoků.

Polo mokré procesy

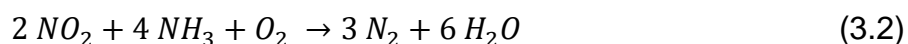
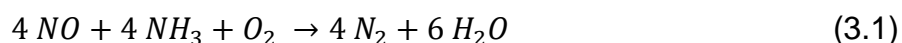
Často také nazývané jako polo suché procesy se zakládají na odděleném vstřikování vody a roztoku vápence do plynového reaktoru. Tam dochází k účinnému mísení s odpadním plynem a vzniku pevných částic. Tyto částice musí být ještě dodatečně odfiltrovány, např. rukávcovými filtry.

Suché procesy

V případě suchých procesů je reakční alkalická látka do čištěného plynu dodávána v podobě suchého prášku. Jeho výskyt spolu s reagovanými sloučeninami odstraňuje další filtraci, např. rukávcový filtr. Odpadní plyn může také procházet filtračními náplněmi, které absorbují znečišťující látky.

Selektivní nekatalytický redukční proces

Z anglického názvu má tato metoda zkratku SNCR. Již vzniklý oxid dusný a dusnatý může být přeměněn pomocí amoniaku (NH_3) nebo močoviny na vodu a dusík dle rovnic:



Podle potřeby dochází k dodávce amoniaku/močoviny v podobě aerosolu nad spalovací komoru. Pro nejvyšší efektivitu jsou nutné teploty v rozmezí 850÷1000 °C a dostatečnou úroveň koncentrace kyslíku. Nedodržením správných podmínek provozu

dochází při nízkých teplotách k úniku amoniaku dále do procesů čištění a při vysokých teplotách k jeho oxidaci na kysličníky dusíku.

Selektivní katalytický redukční proces

Z anglického názvu má tato metoda zkratku SCR. Řídí se stejnými rovnicemi jako SNCR, ale k reakci dochází mimo spalovací komoru na katalyzátoru. Směs amoniaku/močoviny a vzduchu je do spalin vstřikována těsně před katalyzátorem. Optimální teplota se pohybuje v rozmezí 150÷450 °C. Na nižší hranici může docházet k otravě katalyzátoru a na vyšší hranici k tvorbě amonných sulfátů.

3.2 Technické podmínky provozu

Na provoz spalovny odpadu jsou zákonem uloženy technické podmínky, které upravují, jak má fungovat a postupovat během procesu spalování. Jedná se o nároky na konstrukci a proces [10]. Podmínky jsou následovné:

- zásobník odpadu je udržován v podtlaku, přebytečný vzduch je odváděn do pece,
- doba spalování je dostatečná k zajištění maximálního obsahu celkového organického uhlíku ve výši 3 % v popelu a strusce a k zajištění ztráty žíháním nepřekračující 5 % hmotnosti suchého materiálu,
- odpadní plyn je ohřát za posledním přívodem spalovacího vzduchu po dobu 2 sekund na alespoň 850 °C a 1100 °C v případě nebezpečného odpadu s obsahem chloru vyšším 1 %,
- dojde k zastavení přísunu paliva při uvádění do provozu a současnému poklesu teploty pod 850 °C,
- dojde k zapálení dalšího hořáku nespalující odpad při poklesu teploty pod 850 °C, nebo při překročení nějakého specifické emisního limitu.

4 METODY STANOVENÍ KONCENTRACÍ SLEDOVANÝCH ZNEUCŤUJÍCÍCH LÁTEK

Normy popisují přesný postup měření a také principy měření vybraných metod. Další vhodné způsoby měření jsou srovnávány s těmi referenčními popsány v normách a je určeno, zda je lze použít.

4.1 Plynné složky

Největší podíl znečišťujících látek tvoří plynné složky a jsou ve spalovacích odpadu určovány kontinuálně. Existuje značné množství metod, jak tyto složky určovat.

4.1.1 Titrace

Použití titrace se uplatňuje u sloučenin síry [33] [34], chloru [35], fluoru [36] a oxidů dusíku [37].

Princip spočívá v jímání analyzovaného plynu do slabého roztoku, ve kterém se měřená látka zachytí, smíchání s barvivem (např. bromkresolová zeleň, methylsulfonzo III) a titraci směsí roztokem další látky (např. NaOH, $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$) dokud nedojde ke změně barvy. Z objemu přidávané látky, užití při titraci, informaci o množství analyzovaného plynu a dat o okolní teplotě a tlaku se výpočtem určí obsah zjišťovaných látek.

Proces může být zkrácen přítomností těkavých kyselých a alkalických látek. Při manuálním postupu jsou uváděny nepřesnosti výsledku $\pm 2 \%$, případně až $\pm 5 \%$. Vždy však záleží na pečlivosti měřící osoby. Existují také automatizované přístroje založené na principu titrace.

4.1.2 Argentometrická titrace

Princip této metody vychází z titrace, ale postup je mírně upraven. Užití skýtá v určování koncentrace chlorovodíku (HCl).

Do roztoku obsahujícího najímaný analyzovaný plyn a další dodané chemické sloučeniny (např. kyselina dusičná HNO_3) se vloží dvě elektrody. Jedna elektroda je ze stříbra a druhá, referenční, ze stříbra, nebo slitiny stříbra s dusičnanem stříbrným (AgNO_3). Pomocí elektrod se měří potenciometrické křivky za současné titrace dusičnanem stříbrným, než se nalezne inflexní bod.

Tato metoda může sloužit také k určení sloučenin bromu a jódu (Br, I), v tom případě se hledají další inflexní body a z množství užitého titračního činidla se určí koncentrace hledaných látek. K interferenci dochází s ionty, které rády reagují s ionty stříbra, jako jsou například bromidové, jodidové, kyanidové a dusičnanové ionty [38].

4.1.3 Polarometrie

Tato metoda slouží k určení sloučenin fluoru a fluoru v odebraných vzorcích plynů. Odebraný plyn je zachycen v roztoku (např. hydroxidu sodného NaOH) a s přidáním

dalších sloučenin destilován do vzniku kyseliny (fluorokřemičité) a do odstranění nežádoucích sloučenin. K takto připravenému meziprojektu je vložen selektivní člunek sestávající z fluoridové elektrody a srovnávací kalomelové elektrody. Ty měří potenciál. Pro získání výsledku je nutné srovnání kalibračním grafem z roztoků NaF. Nepřesnost je hodně závislá na pečlivosti obsluhy a uvádí se v rozmezí $\pm 5 \%$ [36].

4.1.4 Fotometrie

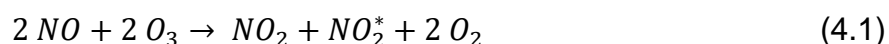
Fotometrie může být použita ke stanovení množství oxidů dusíku (NO_x) [37] a sloučenin chloru (Cl) [38] [35].

Principiálně je založena na pojetí analyzovaného plynu v 3% roztoku peroxidu vodíku (H_2O_2), vyčištění od přebytečného peroxidu, smíchání s kyselinou fenoldisulfonovou a spektrofotometrickém porovnání s předem připravenými vzorky obsahujícími známé množství hledané látky. Porovnání musí být provedeno do 40 minut od průběhu reakce.

Rušení se vyskytuje za přítomnosti iontů bromu, jódu, či kyanidu v analyzovaném plynu. Tento postup je závislý na zkušenostech a přesnosti měřící osoby a poskytnuté výsledky mají při manuálním postupu nepřesnost až $\pm 10 \%$.

4.1.5 Chemiluminiscence

S tímto způsobem měření se lze setkat u oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Chemiluminiscence popisuje reakci oxidu dusnatého s ozonem (O_3) a vyzáření uvolněné energie ve formě světla. Je popsána rovnicemi níže.



Oxid dusnatý (NO) reaguje s ozonem (O_3) za vzniku kyslíku (O_2), oxidu dusičitého (NO_2) a oxidu dusičitého v excitovaném stavu (NO_2^*). Ten samovolně přebytečnou energii uvolní ve formě záření vyjádřeného jako $h\nu$. Intenzita tohoto světla je přesně změřena a z ní je určeno množství oxidu dusného v analyzovaném plynu. Tento postup se uplatňuje pro neupravený plyn a pro plyn, který prošel konvektorem redukcí oxid dusičitý na oxid dusnatý bez vnášení dalších látek. Množství oxidu dusičitého je poté rovno rozdílu získaných hodnot. K rušení dochází při výskytu amoniaku (NH_3), oxidu uhličitého (CO_2) a vody (H_2O) v analyzovaném plynu. Vliv oxidu uhličitého lze omezit vakuováním procesu a pro ostatní rušivé látky je nutný přepočít, nebo referenční vzorek o stejném obsahu těchto látek [39].

4.1.6 Fluorescence a fosforescence

Fluorescenční nebo fosforescenční vlastnosti vykazují jen nějaké látky. Měření založené na tomto principu lze použít na oxid siřičitý (SO_2) a aromatické uhlovodíky.

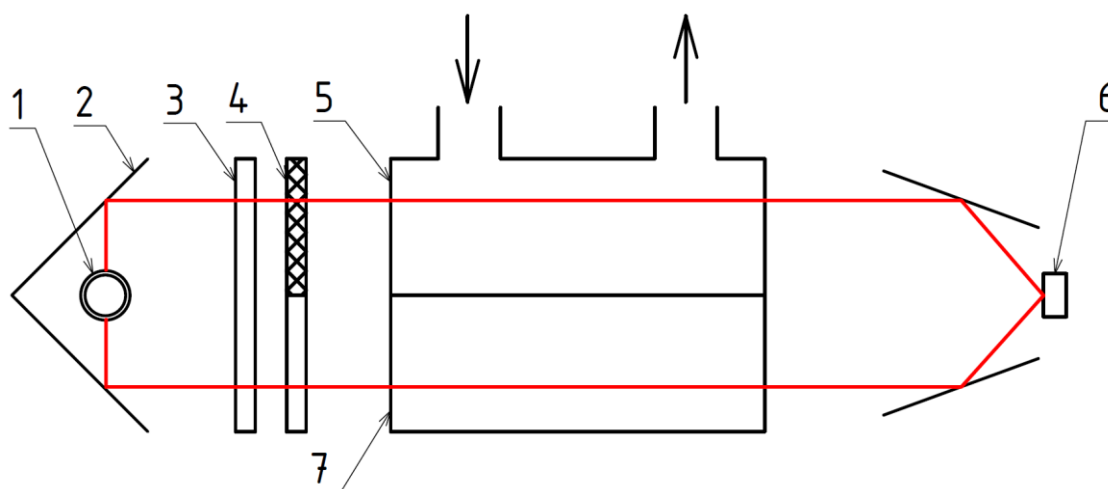
Po excitaci látky zářením, nebo elektrickým polem dojde k deexcitaci a vyzáření přebytečné energie ve formě světelného záření. Dle jeho intenzity se určí množství sledované sloučeniny v měřeném plynu [40].

4.1.7 Infračervená spektroskopie

S touto metodou se dají měřit koncentrace oxidů dusíku (NO_x) [41], oxidu siřičitého (SO_2) [33], oxidu uhelnatého (CO) [42] a organických sloučenin uhlíku (TVOC) [43].

Nejčastěji používaná jako nedisperzivní infračervená spektrometrie je známá pod zkratkou NDIR a po propojení s Fourierovou analýzou jako FTIR. V tom případě dochází k užití širokospektrálního zdroje pro určení i dalších sloučenin, například fluor [44]. Principem nedisperzivní spektrometrie je měření poklesu intenzity paprsku infračerveného (dále jen IR z anglického *infra red*) světla procházejícího analyzovaným plynem. Molekuly látek pohlcují určitý zlomek záření jádry atomů a tento rozdíl je měřen.

Schématicky lze nákres vidět na obrázku (Obrázek 4). Každá látka pohlcuje IR záření trochu jiné vlnové délky. Z tohoto důvodu je za emitorem IR světla (1) optický filtr (2) propouštějící jen paprsky jedné konkrétní vlnové délky. Tento paprsek poté paralelně prochází kyvetami obsahujícími analyzovaný plyn v jedné (5) a referenční plyn v druhé (7). Většinou se jako referenční plyn používá dusík (N_2) pro svou velmi nízkou pohltivost IR záření. Rotační clona (4) střídá průchod světla jednotlivými kyvetami, aby docházelo k měření koncentrace zjišťované látky v jednom i druhém plynu. Tímto dochází k eliminaci rozdílného vyzařování z emitoru IR světla oproti užití dvou zdrojů a rozdílného měření, pokud by byly použity dva snímače intenzity záření (6). Šipky naznačují proudění analyzovaného plynu kyvetou. Optický filtr bývá většinou schopný rotace a umožňuje nastavení propustnosti více různých vlnových délek záření.



Obrázek 4

Schématický nákres měření metodou NDIR [42]

1 – zdroj IR záření, 2 – zrcadlo, 3 – optický filtr,
4 – rotující clona, 5 – kyveta pro analyzovaný plyn,
6 – snímač intenzity záření, 7 – kyveta pro referenční plyn.

Ruku v ruce s mnohoúčelností jdou také nevýhody způsobené interferencí, protože vlnové délky, ve kterých je IR světlo pohlcováno, se u různých prvků překrývají. Toto je řešeno odstraněním rušících látek z analyzovaného plynu, jejich úpravou, nebo užitím kyvety naplněné referenčním plynem, jenž obsahuje právě rušivé látky v dostatečné koncentraci, aby pohltily většinu záření ve svém absorpčním spektru. Poslední zmíněný způsob korekce nepatří mezi nejpřesnější a představuje kompromis mezi omezením vlivu rušivé látky a úplnou ztrátou citlivosti.

4.1.8 Ultrafialová a viditelná spektroskopie

Tato metoda se významně neliší od infračervené spektrometrie. Lze ji najít pod zkratkou UV-VIS z anglických slov *ultra violet* a *visible*. S její pomocí se měří obsah oxidů dusíku (NO_x), oxidu siřičitého (SO_2) a vody (H_2O).

Princip i způsob měření jsou stejné, mění se skupina spekter užívaných pro měření. Záření je pohlcováno elektrony, ne jádry. Každá složka pohlcuje jiné vlnové délky světla a některé se překrývají. Z tohoto důvodu je měření uzpůsobeno pro porovnávání různých vlnových délek mezi sebou pro zpřesnění výsledku. Nebývá nutná porovnávací křivka. Voda pohlcuje záření o velmi krátkých vlnových délkách a může v oné oblasti docházet k ovlivnění všemi složkami plynu. Pro tyto případy dochází k vakuovému měření [40].

4.1.9 Absorpční a kondenzačně–absorpční metoda

Existují dvě možnosti užití této metody, buď jen jako absorpční, nebo v kombinaci s kondenzací. Tato metoda je užívána výhradně k jednorázovému měření vlhkosti a obsahu vodních par v plynech.

Princip spočívá v jímání vodních par ohřátých na $120\text{ }^\circ\text{C}$ v sušících látkách. Nejčastěji je používán silikagel i přesto, že pohlcuje malé množství oxidu uhličitého (CO_2). Tato chyba je přijímána a tvoří podstatnou odchylku od správnosti jen v případě jeho vysokého výskytu. Přírůstek hmotnosti takto užitých látek je zvážen a poté proveden výpočet pro stanovení vlhkosti a obsahu vodních par v plynu. Tento postup lze zkombinovat s kondenzací, kdy je analyzovaný plyn ohřát na teplotu $120\text{ }^\circ\text{C}$ a přiváděn ke kondenzačním plochám, jež jsou dostatečně účinně chlazeny. Nejčastěji suchým ledem, nebo kryogenickým systémem.

Přesnost je zaručena jen v případech, kdy voda není v plynu rozprostřena ve formě kapiček. V opačném případě dochází ke vzniku značné chyby v měření zvýšením naměřené vlhkosti oproti reálným hodnotám [45].

4.1.10 Elektrochemická analýza

Obecně se těmto analyzátorům říká elektrochemické analyzátory s pevným elektrolytem. Používají se v měřicích přístrojích na určení koncentrace kyslíku (O_2), oxidů dusíku (NO , NO_2), oxidu siřičitého (SO_2), oxidu uhličitého a uhelnatého (CO_2 , CO), amoniaku (NH_3) a dalších látek. Základ tvoří elektrody umístěné v elektrolytu (roztoku), jímž může být například oxid zirkoničitý (ZrO_2). Mezi elektrodami je měřeno napětí, případně proud vyvolávaný jejich reakcí s procházejícím plynem. Elektrody se různí pro jednotlivé látky. Permeabilní membrány propouštějí k elektrolytu jen jednu měřenou složku analyzovaného plynu. Elektrochemické analyzátory potřebují pro svůj provoz zvýšenou teplotu (až $800\text{ }^\circ\text{C}$). Elektrochemická čidla postupně degradují. Vzniká nutnost jejich častější kontroly a korekce měření [40] [46].

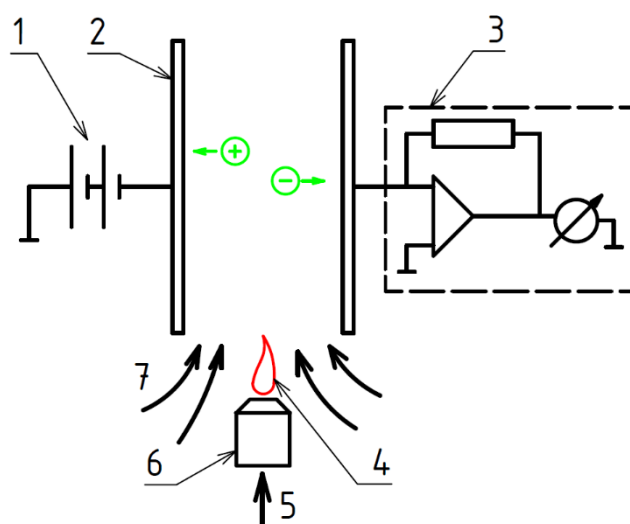
4.1.11 Plamenoionizační metoda

K uskutečnění této metody se používá plamenový ionizační detektor (FID) a určuje se s jeho pomocí obsah celkového organického uhlíku (TOC).

Princip spočívá v tom, že přivedený plyn se spaluje spolu s vodíkem (H_2). Popis je zobrazen na obrázku (Obrázek 5). Při spalování této směsi plynů (4) prochází skrz

plamen stejnosměrný proud skrz elektrody (2) a vzniká proud ionizační, který je měřený. Tak je určeno množství organických molekul uhlíku. Vzniklý ionizační proud závisí na počtu atomů uhlíku v molekule, typu jeho vazeb, konstrukci FID a provozních podmínkách. FID reaguje silně na organické sloučeniny a slabě na sloučeniny odpadních plynů (CO , CO_2 , NO_x).

Výchozí hodnota se vždy stanoví pro propan (C_3H_8). K případné interferenci může docházet vlivem dříve zmíněných látek a pro zvýšení přesnosti a uskutečnitelnosti je nutné odloučit veškeré TZL a vyhřát přiváděný plyn na $180\text{ }^\circ\text{C}$ [47].



Obrázek 5 Schématický náčrtek plamenového ionizačního detektoru [47]
1 – polarizační napětí, 2 – elektrody, 3 – zesilovač a zobrazovač,
4 – plamen, 5 – přívod směsi spalovacího a vzorkovacího plynu,
6 – tryska, 7 – přívod spalovacího vzduchu.

4.1.12 Paramagnetická metoda

Zde dochází k využití paramagnetických vlastností molekul kyslíku (O_2), tzn. že jeho molekuly jsou silně přitahovány magnetickým polem. Existují tři varianty využívající tohoto jevu:

- Termo-magnetická** – dvě komory vedou stejný analyzovaný plyn a jsou spojeny další, která je vyhřívána. Na jedné straně spojení je umístěn permanentní magnet vytvářející nehomogenní magnetické pole a svým působením stahuje do vyhřívané komory molekuly kyslíku. Ten je ohříván a rozdíl teplot v proudech a proudění v komorách je měřeno pomocí Wheatstoneova můstku.
- Magneto-mechanická** – v měřicí komoře jsou umístěny dva permanentní magnety vytvářející nehomogenní magnetické pole. Tím prochází velmi jemný a slabý proud analyzovaného plynu. Vlivem paramagnetismu je kyslík vychýlen a způsobuje parciální změnu tlaků zachycenou plovákem, jehož poloha je snímána. Elektromagnety dorovnávají tyto změny, aby byl plovák ve výchozí poloze a z užitého proudu a napětí na funkci elektromagnetů je spočtena koncentrace kyslíku v plynu.
- Magneto-pneumatická** – referenční a analyzovaný plyn proudí kolem elektromagnetu. Jeho působením dochází ke změně parciálních tlaků a tím upravují membránu umístěnou mezi plyny, nebo se mikro senzory měří změna

jejich průtoku. Dle difference těchto veličin se určí množství kyslíku v měřeném plynu ze znalosti jeho obsahu v plynu referenčním (lze používat okolní vzduch). Rušení vzniká působením jiných paramagnetických molekul v plynu (např. vybrané oxidy dusíku). Aby mohlo měření proběhnout správně, musí být přiváděný plyn vysušen [48].

4.1.13 Iontová kapalinová chromatografie

S touto metodou lze měřit koncentraci iontů různých látek. Hlavně obsah chloridů (HCl) [38], oxidů síry (SO_3) [34] a dusíku (NO_x) a fluoridů (HF) [49].

Roztok analyzovaného plynu je dopravován pomocí mobilní fáze (vodné roztoky solí slabých 1,2 sytných kyselin nebo vodné roztoky hydroxidů) skrz fázi stacionární zastoupenou měničem iontů (celulóza, dextran atd.). Dojde k separaci jednotlivých iontů a jejich měření pomocí vodivostního případně UV detektoru [50]. Při tomto postupu jsou nutné kalibrační vzorky v rozmezí očekávaných výsledků a slepý pokus pro určení pozadí při měření.

Rušení bývá způsobeno organickými kyselinami, siřičitany a různými kovy (alkalických zemin, těžké). Vlivu nekovových sloučenin lze zamezit úpravou kyselosti pH.

4.1.14 Katalytické spalování

Uplatnění tento postup nalézá při měření hořlavých látek (jako jsou vodík a různé organické látky, např. methan) a oxidu uhelnatého (CO).

Na čidle s katalyticky účinným povrchem (platina, paladium) dochází ke spalování hořlavých látek a poté se měří tepelné zabarvení spalovací reakce. Tyto senzory se nazývají pelistory. Tepelná probíhá hlavně díky vhodně zvýšené teplotě (~ 500 °C) a přítomnému katalyzátoru. Často dochází k zapojení pelistorů ve dvojici, kde jeden tvoří srovnávací pro odfiltrování pozadí a změn proudění.

Přístroje využívající tuto technologii vynikají dlouhou životností a vysokou spolehlivostí. Jejich nevýhodou však je otrava katalytickými jedy, které snižují reaktivitu povrchu pelistoru. Tento jev lze potlačit, není však vylučitelný [51] [52].

4.1.15 Psychometrie

Metoda psychometrie patří mezi nejstarší postupy určování vlhkosti. V odpadovém plynu jsou umístěny dva teploměry, z nichž jeden je udržován stále vlhký. Teploty jsou porovnány a po přepočtu lze získat výslednou vlhkost.

4.2 Tuhé znečišťující látky

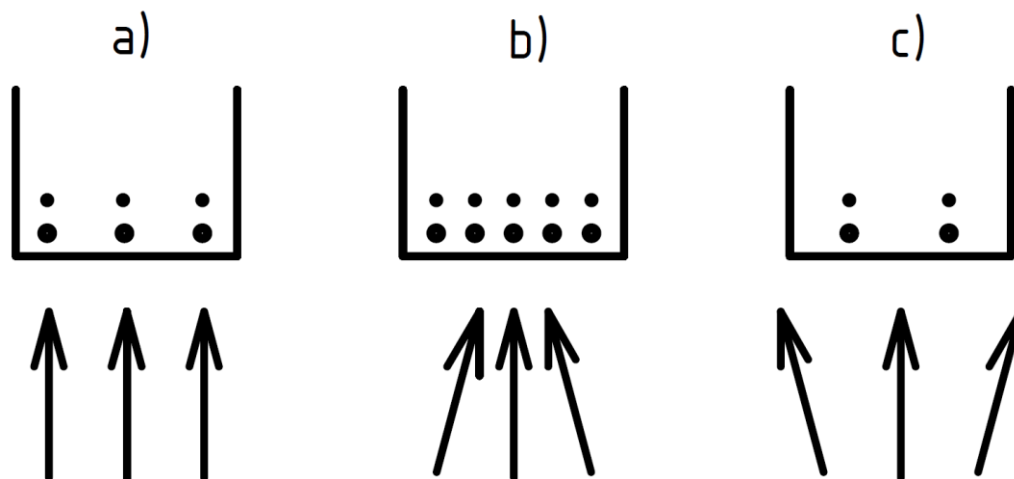
Prach či-li TZL tvoří částice, ke kterým je nutno přistupovat jinak než k plynným složkám. Metody měření jejich koncentrace jsou mírně odlišné.

4.2.1 Gravimetrie

Tato metoda spočívá v měření změny hmotnosti filtru, který je vystaven proudů analyzovaného plynu a zachytává částice TZL. Filtr musí zachytit alespoň 99,5 %

částic a aerosolu o průměru $0,3\ \mu\text{m}$, nebo alespoň 99,9 % částic aerosolu o průměru $0,6\ \mu\text{m}$.

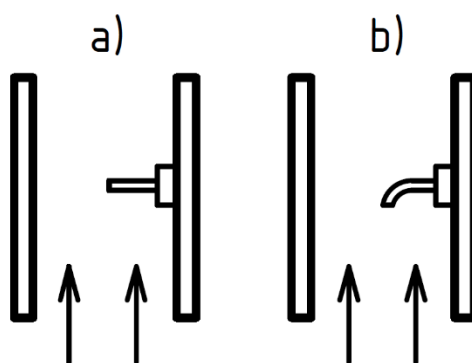
Odběr musí probíhat izokineticky, protože jinak by docházelo ke zkreslení výsledků vlivem rozdílných rychlostí dle obrázku níže (Obrázek 6). Na něm lze vidět schématicky nakreslené sondy a proudy analyzovaného plynu do nich vstupující. Položka a) zobrazuje případ pro shodné rychlosti vně a uvnitř sondy a nedochází ke zkreslení výsledků, položka b) ukazuje případ, kdy rychlost proudění je uvnitř sondy vyšší a dochází tím k hromadění částic, dojde ke zkreslení výsledků k vyšším hodnotám TZL, než jaké jsou ve skutečnosti. Položce c) ilustruje případ nižší rychlosti uvnitř sondy, výsledky by byly v tomto případě podhodnocené.



Obrázek 6

Vliv rozdílné rychlosti proudění v komínu a sondě [53]

- a) rychlosti jsou shodné,
- b) rychlost v komínu je nižší,
- c) rychlost v komínu je vyšší než v sondě.



Obrázek 7

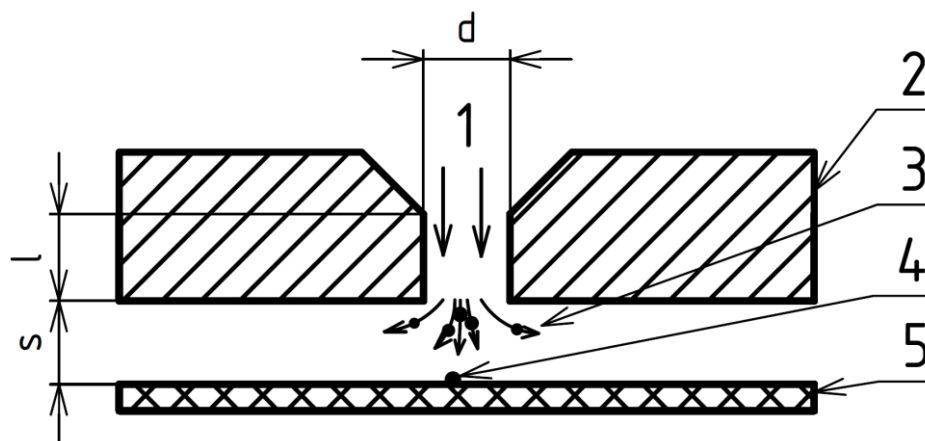
Typy sond podle způsobu odběru vzorku [53]

- a) sonda pro neizokinetický odběr,
- b) sonda pro izokinetický odběr.

Podle toho, jaký typ odběru má být zvolen jsou vybrána různá zakončení sond. Na obrázku (Obrázek 7) lze vidět, jak zhruba můžou vypadat tato zakončení. Šipky značí proud plynu pro případy a) neizokinetický a b) izokinetický odběr. Filtre lze umístiti přímo v komínu, jímž uniká odpadní plyn. Toto řešení se nazývá In-stack. Nebo vně komínu s dopravou plynu potrubím. Tato varianta je zvaná Out-stack [53].

4.2.2 Impaktory

Tato metoda slouží k měření velmi jemných částic TZL, jmenovitě v rozmezí $PM_{2,5} \div PM_{10}$ [54]. Princip spočívá v usměrnění laminárního proudu analyzovaného plynu na sběrnou destičku, ze které je prach po určité době odebrán a zvážen. Pro ilustraci poslouží obrázek (Obrázek 8). Jakmile proud plynu (1) projde skrz trysku (2) narazí na sběrnou destičku (5), na které se zachytí pouze částice, jež nedokážou kvůli své hmotnosti změnit směr (4). Menší částice, pokračují dále ve směru proudění (3). Pro lepší efektivitu se mohou impaktory stavět kaskádově za sebou.



Obrázek 8

Schématický náčrt impaktoru [54]

- 1 – proud plynu,
- 2 – destička trysky,
- 3 – unášené malé částice,
- 4 – zachycené velké částice,
- 5 – sběrná destička.

4.2.3 Rozptyl světla

Pro kontinuální měření koncentrace TZL v odpadním plynu se užívá měření rozptylu světla na částicích a aerosolu. Dopadá-li paprsek světla na částici, tak dojde k jeho odrazu a většinou i rozdělení. Měří-li se pokles intenzity světla vyslaného napříč zkoumaným proudem plynu, jedná se o turbidimetrii a pokud je snaha snímat veškeré světlo rozptýlené do okolí po odrazu, je používána nefelometrii. Přístroje jsou složité na konstrukci a rušení nastává pohlcováním světla plyny. Eliminace chyby se provádí výpočtem [40].

4.3 Těžké kovy

4.3.1 Atomová absorpční spektrometrie AAS

Atomová absorpční spektrometrie je normou obzvláště doporučena pro spalovny odpadu [55]. Slouží k určení koncentrace kovových prvků v odpadním plynu. Kapalný vzorek s najímaným analyzovaným plynem je spalován na atomy. Prosvícením atomů světlem charakteristické vlnové délky dojde k jeho částečnému pohlcení. Monochromátor vytrídí přebytečné vlnové délky od plamene a detektor stanoví pokles intenzity záření. Tato metoda je vhodná i pro určení stopových množství [30] [56].

4.3.2 Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem ICP-OES

Analyzovaný plyn je jímán do kapalného roztoku, který je rozprášen ve formě aerosolu do indukčně vázaného plazmatu. Dojde k atomizaci a excitaci atomů. Při deexcitaci je emitováno záření. Na hranolu dojde k disperzi spekter a intenzita záření je změřena detektory pro výpočet koncentrace konkrétních látek [56] [57].

4.3.3 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem IPC-MS

Je použitelná na zhruba 65 atomů, mezi které spadají všechny těžké kovy [56] [58]. Plazma (argon) je indukováno v trubici omotané cívkou s proudem zajišťující dostatečné elektromagnetické pole pro jeho udržení. Do takto připravené trubice je vháněn zplyněný vzorek s najímaným analyzovaným plynem uvnitř. Vysokou teplotou dojde k výparu rozpouštědla, nosné matrice, rozložení vzorků na atomy a jejich ionizaci. Takto připravené atomy jsou vtlačeny do senzoru. Senzor sestává ze soustavy čoček pro navádění ionizovaného atomu a zpravidla čtyři kruhových tyčí se stejnosměrným proudem a radiofrekvenčním potenciálem. Kombinací těchto dvou veličin je možné vybrat určitý poměr hmotnosti ku náboji jenž projde až k detektoru. Detektor se skládá z dynody a zesilovačů. Vstupující atom narazí do dynody a spustí řetězovou reakci. Ta je zaregistrována jako pulz negativního napětí na dynodách. Detektor je omezen maximálním počtem pulzů v čase s odezvou v rozmezí 10÷20 ns. Rušení probíhá prvky o stejném poměru hmotnosti ku náboji (pro niklu se jedná o železo), polyatomovými ionty (molekula argonu s dalším prvkem o stejném poměru hmotnost/náboj) a fotony unikajícími z plazmatu. Odstranění rušení spočívá v přidání molekulových plynů (dusík, vodík apod.), snížením teploty o 2÷5 °C a stíněním fotonů. V reálu je rušení velmi malé a přesnost dosahuje se pohybuje kolem 1 ng/m³ [58].

4.4 PCDD/PCDF

Analyzovaný plyn je jímán v absorbérech s diethylglykolem, nebo filtrech z PU pěny podle zvoleného způsobu, který je užít:

- a) filtračně kondenzační (diethylglykol),
- b) zředovací (PU pěna),
- c) chlazenou sondou.

Ze všech částí aparatury a filtrů probíhá extrakce v Soxhletově extraktoru. Dojde k výparu rozpouštědla (acetonu) snímajícího měřené látky. Extrakt je kolonově čištěn a smíchán se souborem ¹³C₁₂ usnadňujícím měření [59].

4.4.1 Plynová chromatografie

Upravený roztok analyzovaného plynu je dopravován pomocí mobilní fáze (dusík) skrz fázi stacionární (aktivní uhlí, skelná vlákna). Dojde k separaci jednotlivých složek a jejich měření pomocí tepelně vodivostního TCD případně plameno-ionizačního detektoru FID [59] [60].

4.4.2 Hmotnostní spektrometrie

Upravený roztok analyzovaného plynu je ionizován nárazy elektronů. Na detektoru hmotnostního spektrometru MS jsou sledovány ionty s nejčastějším výskytem ve shluku molekulových iontů izotopu chloru [59].

5 ANALYZÁTORY POUŽÍVANÉ PRO STANOVENÍ POLUTANTŮ VE SPALINÁCH

Analyzátory plynu se mohou dělit na extraktivní, kdy dochází k vyvedení analyzovaného plynu mimo komín a neextraktivní nebo-li in-situ. V tom případě je plyn měřen přímo v komínu bez nutnosti jeho přesměrovávání. V případě přenosných zařízení je vždy využíváno extraktivních metod. Většina nepřenosných přístrojů je umístěných v rámech o velikosti 19". Většina přístrojů ukazuje získaná data o množství měřeného plynu v jednotkách *ppm* vyjadřujících počet částic na milion.

5.1 ABB

Tato švédsko – švýcarská nadnárodní korporace vyrábí analyzátory vycházející z konstrukce společností Hartmann & Braun, kterou do sebe v roce 1992 začlenila. Vyrábí nepřenosné přístroje pro umístění do rámu, nebo jako samostatné jednotky [61].

ACF5000

Přístroj využívající technologie FTIR pro kontinuální určování až dvanácti sloučenin současně. Dokáže měřit koncentrace HCl, HF, H₂O, CO, SO₂, NO_x, NH₃, N₂O, O₂, TOC a další.

AO2000, EL3000

Extraktivní jednotky s možností výbavy několika moduly. Model EL3000 představuje zjednodušenou a dostupnější verzi, která dokáže současně měřit až 5 sloučenin. Model AO2000 využívá pokročilejší konstrukce pro současné měření až 6 sloučenin. Zařízení jsou dostupná také v provedení do prostředí s nebezpečím výbuchu.

Moduly

Nabízené moduly pro umístění do jednotek AO2000 a EL3000 jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 19).

Tabulka 19 Extraktivní moduly společnosti ABB

Modul	Metoda	Měřená látka
Uras26	NDIR	CO, NO, SO ₂ , CO ₂ , N ₂ O, CH ₄
Limas11IR	IR a UV spektroskopie	CO, CO ₂ , HCl, CH ₄
Limas21UV		NO, SO ₂ , NO ₂ , Cl ₂
Limas21HW		NO, NO ₂ , NH ₃
Fidas24	Plamenoionizační metoda	TOC
Magnos27	Paramagnetická metoda	O ₂
Magnos28		
Magnos206		
ZO23	Elektrochemický článek	O ₂

5.2 Siemens

Společnost Siemens založená v Německu vyrábí systémy a nepřenositelné přístroje na kontinuální měření plynu extraktivním a také neextraktivním způsobem. Jednotky jsou uzpůsobené k montáži do skříní a stojanů [62].

5.2.1 Extraktivní

ULTRAMAT 6

Pomocí NDIR měří látky reaktivní v oblasti infračerveného záření, např. CO, CO₂, NO, SO₂, NH₃, H₂O, CH₄ a další uhlovodíky. Podle zvolené konstrukce dokáže měřit dva, nebo čtyři látky současně. Měřicí rozsahy se liší podle měření jedné, nebo více sloučenin současně. Rozsahy jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 20).

Tabulka 20 Měřicí rozsahy ULTRAMAT 6

Látka	Nejmenší rozsah [mg/m ³]	Největší rozsah [mg/m ³]
CO	0÷50	0÷30000
NO	0÷75	0÷30000
SO ₂	0÷100	0÷30000

ULTRAMAT 23

Pomocí NDIR měří současně až tři látky reaktivní v oblasti infračerveného záření, např. CO, CO₂, NO, SO₂, CH₄, obsah kyslíku elektrochemicky, nebo paramagnetickou metodou a H₂S elektrochemicky.

OXYMAT

Pomocí paramagnetické metody založené na magneto-pneumatické konstrukci měří obsah kyslíku v plynu modely 6 a 61. Minimální měřicí rozsah je 0,5 %. Odolnější konstrukci nabízí model 6, než model 61. Elektrochemickou metodu využívá model 64. Kombinací OXYMATU 6 s ULTRAMATEM 6 vzniká přístroj sdílející jejich vlastnosti s názvem ULTRAMAT/OXYMAT 6.

SIPROCESS UV600

Pomocí ultra fialového záření měří UV – reaktivní látky, např. NO, NO₂, SO₂, H₂S. Dokáže měřit až tři sloučeniny současně

FIDAMAT 6

Pomocí plamenoionizační metody měří obsah celkového organického uhlíku. Měřicí rozsahy se mění od 0÷10 ppm po 0÷99 999 ppm.

SIPROCESS GA700 OXYMAT

Zástupce nové generace přístrojů společnosti Siemens pracující na paramagnetické metodě a magneto-pneumatické konstrukci pro měření kyslíku s minimálním měřicím rozsahem 0,5 %.

5.2.2 Neextraktivní

LDS 6

Pomocí pohlcování záření různých vlnových délek měří obsah látek přímo v komínu jako jsou CO, CO₂, O₂, NH₃, H₂O, HCl a HF. Dokáže současně měřit dvě látky.

Uzpůsobené pro práci v nepříznivých podmínkách a obsahující minimum elektronických součástí.

SITRANS SL

Pomocí pohlcování záření různých vlnových délek měří obsah látek přímo v komínu jako jsou CO, CO₂, O₂. Měří vždy jednu sloučeninu. Uzpůsobené pro práci v nepříznivých podmínkách.

5.3 TESTO

Německá firma specializující se na výrobu přenosných měřících zařízení s možností výběru specifických senzorů [63].

5.3.1 Přístroje

TESTO 340

Mobilní zařízení s možností osazení až čtyřmi elektrochemickými senzory dle vlastního výběru. Jedním je zpravidla elektrochemický senzor na měření O₂.

TESTO 350

Mobilní zařízení s dokovací stanicí a možností osazení až šesti senzory dle vlastního výběru. Zpravidla je jedním elektrochemický senzor na měření O₂.

5.3.2 Senzory

Elektrochemické

Tyto senzory jsou vyráběny ve dvou variantách podle rozsahu měření. Slouží k měření sloučenin O₂, CO, H₂S, NO, NO₂, SO₂.

Infračervené

Zmenšené provedení přístrojů infračervené spektroskopie založené na pohlcení záření. S jejich pomocí se zjišťuje množství CO₂.

5.4 TESTA

Německá společnost TESTA vyrábí přístroje s FID detektory fungujícími na plamenoionizační metodě pro analýzu organických sloučenin uhlíku. Konstrukce je uzpůsobená do rámu, pro samostatné stacionární užívání, nebo pro přenos. Rozsah měření se mění od 0÷10 ppm až po 0÷100 000 ppm. Přístroje jsou vyráběny s možností automatické kalibrace a automatického zapálení [64].

5.5 HORIBA

Japonská společnost HORIBA nabízí pokročilé přístroje pro měření plynných složek v emisích v přenosném a stacionárním provedení [65].

5.5.1 Přenosné přístroje

PG-350E

Přenosný přístroj schopný měřit až pět látek současně: NO_x, SO₂, CO, CO₂ a O₂. Využívá metod chemiluminiscence pro zjišťování NO_x, NDIR pro SO₂, CO a CO₂ a paramagnetickou metodu pro zjištění O₂. Měřicí rozsahy jsou v tabulce (Tabulka 21).

Tabulka 21 Měřicí rozsahy PG-350E

Látka	Jednotka	Nejmenší rozsah	Největší rozsah
SO ₂	[ppm]	0÷200	0÷3000
CO	[ppm]	0÷200	0÷5000
CO ₂	[%]	0÷10	0÷30
NO _x	[ppm]	0÷25	0÷2500
O ₂	[%]	0÷5	0÷25

5.5.2 Nepřenosné přístroje

TX-100

Neextraktivní zařízení na současné měření HCl a H₂O v odpadním plynu. Funguje na principu NDIR a montuje se jen na jednu stranu kouřovodu.

ENDA-5000

Analyzační systém pro současné měření sloučenin NO_x, SO₂, CO, CO₂ a O₂. Využívá NDIR a paramagnetickou metodu s magneto-pneumatickou konstrukcí pro zjištění kyslíku. Rozsahy měření jsou v tabulce (Tabulka 22).

Tabulka 22 Měřicí rozsahy ENDA-5000

Látka	Jednotka	Rozsah
SO ₂	[ppm]	50÷5000
CO	[ppm]	100÷5000
CO ₂	[%]	5÷25
NO _x	[ppm]	100÷5000
O ₂	[%]	10÷25

NZ-5000

Zařízení na měření koncentrace kyslíku založené na elektrochemickém elektrolytu s oxidem zirkoničitým. Poskytuje vysokou rychlost odezvy a přesnost ±0,2 %.

5.6 SICK

Tato německá společnost vyrábí měřící jednotky pro in-situ a extraktivní měření. Pro extraktivní měřící jednotky poskytuje vysokou modularitu zařízení [66].

5.6.1 Neextraktivní

ZIRKOR

Bodová sonda fungující na elektrochemickém článku s oxidem zirkoničitým

GM

Výrobní řada bodových sond využívajících metod světelné spektroskopie různými způsoby. Slouží k měření CO, nebo CO, CO₂, H₂O, nebo NO, SO₂, nebo HF.

Dusthunter

Výrobní řada k měření koncentrací TZL v odpadním plynu využívající rozptylu světla. Ttransmisi (turbidimetrii) využívá řada s názvem T, zpětný rozptyl světla (nefelometrii) řada S a kombinaci těchto metod uplatňuje řada C. Jednotlivé přístroje se dělí podle rozměru kouřovodu.

5.6.2 Extraktivní

MERCEM300Z

Měřicí jednotka pro analýzu rtuti pomocí atomové absorpční spektrometrie.

FWE200

Produktová řada uzpůsobená k měření koncentrací TZL ve vlhkém plynu. Využívá turbidimetrie (dopředný rozptyl světla).

Moduly

Nabízené modely uzpůsobené k namontování do větších celků jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 23).

Tabulka 23 Extraktivní moduly společnosti SICK

Modul	Metoda	Měřená látka
DEFOR	UV spektroskopie	NO, NO ₂ , SO ₂
MULTOR	NDIR	CH ₄ , NO, CO, CO ₂ , SO ₂
OXOR-E	Elektrochemický článek	O ₂
OXOR-P	Paramagnetická metoda	O ₂
UNOR	NDIR	CH ₄ , NO, NO ₂ , NO _x , CO, CO ₂ , SO ₂
FINOR	IR spektroskopie	CO, CO ₂
FIDOR	FID	TOC

S700, GMS800

Modulární zařízení umožňující montáž zmíněných modulů dle přání zákazníka. Jedině modul FIDOR musí být umístěn samostatně.

SIDOR

Zařízení využívající metodu NDIR k měření látek NO, CO a SO₂ a s namontovaným modulem OXOR-E, nebo OXOR-P.

GME700

Zařízení pracující na světelné spektroskopii k určení sloučenin HCl, HF a NH₃.

5.7 SAXON

Německá společnost, která vyrábí jak celá zařízení, tak i jejich hlavní součásti v podobě měřících kyvet apod. Většina měřících přístrojů je specializována na měření emisí u automobilů [67].

INFRALYT80

Univerzální nepřenosné zařízení využívající NDIR metodu a případně elektrochemické čidlo pro oxid dusná, nebo kyslík s možností užití paramagnetického měření kyslíku. Dohromady je schopné měřit sloučeniny CO, CO₂, C₃H₈, CH₄, NO, SO₂ a O₂.

SMG100

Bytelné extraktivní měřicí zařízení pro zjištění množství TZL v plynu pomocí difrakce světla na částicích. Měří do koncentrace 500 mg/m³.

SMG200M

Bytelné extraktivní měřicí zařízení pro zjištění množství TZL v plynu pomocí difrakce světla na částicích. Měří do koncentrace 250 mg/m³.

5.8 Dräger

Německá společnost vyrábějící vysoce odolná přenosná zařízení na detekci a měření plynů s vysokou úrovní modularity [68].

5.8.1 Přístroje

Dräger X-am® 7000

Vysoce odolné zařízení pro současné a kontinuální měření až pěti látek. Lze vybavit třemi elektrochemickými senzory dvěma senzory jiného typu.

Dräger X-am® 8000

Snadno přenosný přístroj pro současné měření až sedmi látek. Ukládá v sobě pět slotů pro elektrochemická čidla, jedno pro IR, nebo ionizační detektor a jedno čidlo pro IR, nebo katalytický detektor.

Dräger X-am® 3500

Snadno přenosný přístroj pro současné měření až čtyř látek. Obsahuje katalytický detektor a tři sloty pro volitelná elektrochemická čidla.

5.8.2 Senzory

Katalytické

Senzory založené na metodě katalytického spalování zjišťující obsah methanu (CH₄).

Ionizační

Senzory založené na metodě ionizace (stejně jako plamenoionizační, k ionizaci dochází UV zářením). Slouží k měření organických sloučenin uhlíku.

Infračervené

Zmenšené provedení infračervené spektroskopie založené na pohlcení záření. S jejich pomocí se zjišťuje množství CO₂ a CH₄.

Elektrochemické

Tyto senzory jsou sou vyráběny ve dvou variantách podle rozsahu měření. Slouží k měření sloučenin O₂, CO, CO₂, H₂S, NO, NO₂, SO₂, PH₃, HCN, NH₃, Cl₂, H₂ a O₃.

5.9 Servomex

Nadnárodní společnost spadající do koncernu Spectris nabízí širokou paletu měřících zařízení, mezi které patří také přístroje pro měření plyných složek v emisích v přenosném a stacionárním provedení [69].

5.9.1 Přenosné přístroje

MINIMP 5200

Zařízení na měření koncentrace CO₂ a O₂ v procentech využívající NDIR a paramagnetickou metodu.

5.9.2 Nepřenosné přístroje

LASERSP 2930

In-situ měřící přístroj pro měření sloučenin O₂, HCl, HF, NH₃, CO, CO₂, H₂O, H₂S, HCN, NO, N₂O a uhlovodíků založený na metodě absorpční světelné spektrometrie. Konstrukce je vhodná do nebezpečných prostředí.

SO2

Zařízení k extraktivnímu měření oxidu siřičitého pomocí UV fluorescence. Rozlišuje na nejmenším rozsahu 0÷0,05 ppm.

NOX

Extraktivně měřící zařízení oxidů dusíku fungující na metodě chemiluminiscence.

4900 MULTIGAS

Přístroj pro extraktivní měření emisí O₂, CO a CO₂ v procentech a sloučenin CO, NO, N₂O, S₂O a CH₄ v ppm. Využívá paramagnetickou metodu pro zjištění koncentrace kyslíku a NDIR pro zjištění ostatních látek.

HFID

Zařízení vybavené plamenoionizačním detektorem k měření organických sloučenin uhlíku, nebo jen methanu po průchodu plynu oxidačním katalytickým konvertorem.

5.10 Gaset

Finská společnost Gaset produkuje zařízení na kontinuální měření plyných látek a rtuti. Systémy mohou být vybaveny technologií FTIR pro detekci až 50 látek, elektrochemickým článkem pro měření koncentrace kyslíku a detektorem fungujícím na atomové fluorescenci studených par (CVAF). Přístroje pro měření rtuti jsou schopné detekovat už 0,02 µg/m³ [70].

5.11 Mercury Instruments

Americká společnost Mercury Instruments nabízející přístroje pro měření koncentrace rtuti. Zařízení mohou fungovat na dvou principech:

1. absorpce UV záření – minimální detekční mez je $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, možné i v přenosném provedení,
2. AAS se zlatou pastí – minimální detekční mez je $0,1 \text{ ng}/\text{m}^3$ [71].

5.12 Tekran

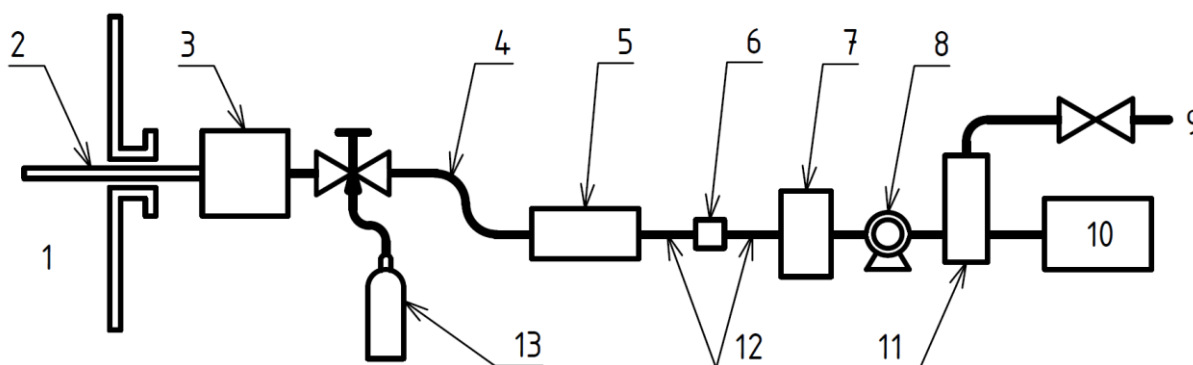
Kanadská společnost Tekran nabízí přístroje pro kontinuální měření koncentrace rtuti pracující na technologii atomové fluorescence se zkoncentrováním zlatem. Zařízení jsou schopna detekovat rtuť už při koncentraci $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [72].

6 POSTUPY MĚŘENÍ VYBRANÝCH SLOŽEK

Zapojení zařízení a postupy měření jsou pro jednotlivé metody popsány normami. Zacházení s přístroji a jejich údržba je určena výrobcem a kontroly jejich správné činnosti v kooperaci norem s návody k obsluze.

6.1 Zapojení

Nejčastěji užívané jsou komerční přístroje založené na normovaných metodách jako jsou NDIR, paramagnetismus, plamenoionizace, chemiluminiscence a nenormovaná elektrochemická analýza. Všechny to jsou extraktivní metody a vykazují společné prvky zapojení.



Obrázek 9 Schéma zapojení měřících přístrojů [39] [42] [74]

1 – potrubí, 2 – sonda, 3 – vyhřívaný filtr, 4 – vyhřívané potrubí, 5 – kondenzační a sušící zařízení, 6 – filtr, 7 – konvertor, 8 – čerpadlo, 9 – obtok, 10 – měřící jednotka, 11 – rozvodné potrubí, 12 – potrubí vzorkovací trati, 13 – kalibrační plyn

Na obrázku (Obrázek 9) je zobrazeno zapojení měřící soustavy. Analyzovaný plyn je odebrán z potrubí (1) odběrovou sondou (2), která je pro tento úkol správně vybrána s ohledem na podmínky promísení plynů v komínu a stabilitě podmínek. Vyhřívaný filtr (3) z inertních materiálů (např. keramiky) zabrání vniku prachu dále do systému. Aby nedošlo ke kondenzaci plynu v potrubí, je plyn veden vyhřívaným vedením (4) dokud nedojde k jeho vysušení (5). Suchý plyn dále pokračuje vzorkovacím potrubím (12) z inertních materiálů, jako jsou PTFE, nerezová ocel apod. Filtr jemných částic (6) zajistí, aby nedošlo k vniku pevných látek do analyzátorů a jejich znečištění. Konvertor (7) se používá pouze v případech, kdy jsou oxidy dusíku měřeny jako oxid dusný, může být součástí měřícího zařízení. Konstantní průtok plynu trati zajišťuje čerpadlo (8) z inertních materiálů (nerezová ocel), které může být součástí měřícího zařízení. Vyžaduje-li to situace vloží se před měřící jednotku (10) obtok (9) pro další odběr plynu.

Zařízení s FID se připojují přímo na vyhřívané potrubí. Další konfigurace součástí záleží také na konstrukci používaného přístroje, podle toho, co obsahuje (např. na přístroje TESTO se nasadí sonda na elastickém potrubí). Kalibrační plyny (13) se do soustavy pouštějí ještě před vysoušecím zařízením (5), nebo je-li normami řečeno, přímo do měřící jednotky [47].

6.2 Postup měření

Přesný postup je normovaný z toho důvodu, aby mohlo být dosaženo jeho přesné opakovatelnosti a možnosti dosažení, co nejpřesnějších výsledků [39] [47] [48] [74].

6.2.1 Zapojení

Vhodné místo k měření bývá u spaloven odpadu vybráno již při stavbě a nachází se v dostatečné výšce nad vývodem spalin (v reálu cca 15 metrů). Měřicí jednotky mohou být umístěny poblíž, nebo v jiné části objektu a analyzovaný plyn je přiváděn již vysušený inertním potrubím. Měřicí soustava je zapojena podle popisu v kapitole 6.1.

6.2.2 Volba měřicího systému

S ohledem na předpokládané podmínky (teplota, vlhkost, obsah TZL, množství rušivých složek) jsou vybrány vhodné prvky soustavy a jejich uspořádání.

6.2.3 Spuštění přístroje

V závislosti na typu užití technologie vyžadují měřicí jednotky určitou dobu na samostatnou přípravu. Musejí se zahřát na provozní teplotu. Tento interval je dán výrobcem, pohybuje od 30 minut do 4 hodin a musí při něm být zajištěn konstantní průtok plynu o stejné hodnotě, která bude užitá při měření.

6.2.4 Kalibrace

Do analyzátoru jsou přiváděny plyny s předem známým složením s maximální nejistotou $\pm 2 \%$. Dle jejich hodnot jsou nastaveny krajní hodnoty pro měření. Horní hranice by měla být nastavena na 150 % očekávané hodnoty. Kalibruje se v pořadí:

- nulová hodnota, pomocí plynu bez obsahu sledované látky,
- horní hranice měřicího rozpětí,
- nulová hodnota pro ověření, zda nedošlo k výrazné změně (do 2 % z měřeného rozsahu není nutné).

Nastane-li nějaký problém, postup se opakuje.

6.2.5 Zkouška těsnosti

Pro ověření těsnosti se vhodným způsobem zacpe vstupní potrubí (sonda) a výsledný průtok nesmí být větší než 2 % z průtoku použitého při měření.

6.2.6 Měření

Průběh měření je realizován dle toho, jak ukládá zákon (kapitola 1.1.4) a zvolené technologie.

6.2.7 Kontrola hranic po skončení měření

Po skončení měření dojde k opětovnému zavedení nulovacího a kalibračního plynu pro zjištění posunu hranic. Je-li posun do 2 % horní hranice, změřená hodnota platí. Je-li posun do 5 %, změřená hodnota musí být přepočtena. V případě, že je posun větší než 5 %, měření je neplatné.

6.3 Měření citlivosti a posunu

Pro zjištění přesnosti, citlivosti a posunu měření přístrojů existují normované postupy. V rámci této práce byla zjišťována citlivost a posun po 8 a 24 hodinách.

6.3.1 Měření citlivosti

Po sestavení vzorkovací trati je přístroj spuštěn, přiveden na provozní teplotu a zkalibrován. Posléze je vpuštěn plyn o předem známém složení a naměřené výsledky jsou porovnány s jeho složením

6.3.2 Měření posunu

Po sestavení vzorkovací trati je přístroj spuštěn, přiveden na provozní teplotu a zkalibrován. Posléze je změřen plyn o známém složení, hodnoty zaznamenány a přístroj ponechán puštěný po dobu 24 hodin (v případě FID z bezpečnostních důvodů jen 8 hodin). Po uplynuté době je stejný plyn změřen znova a hodnoty porovnány.

6.4 Užití přístroje

V rámci měření složení plynů, určování citlivosti senzorů a posunu měření byly využity dostupné přístroje.

6.4.1 Siemens Ultramat23

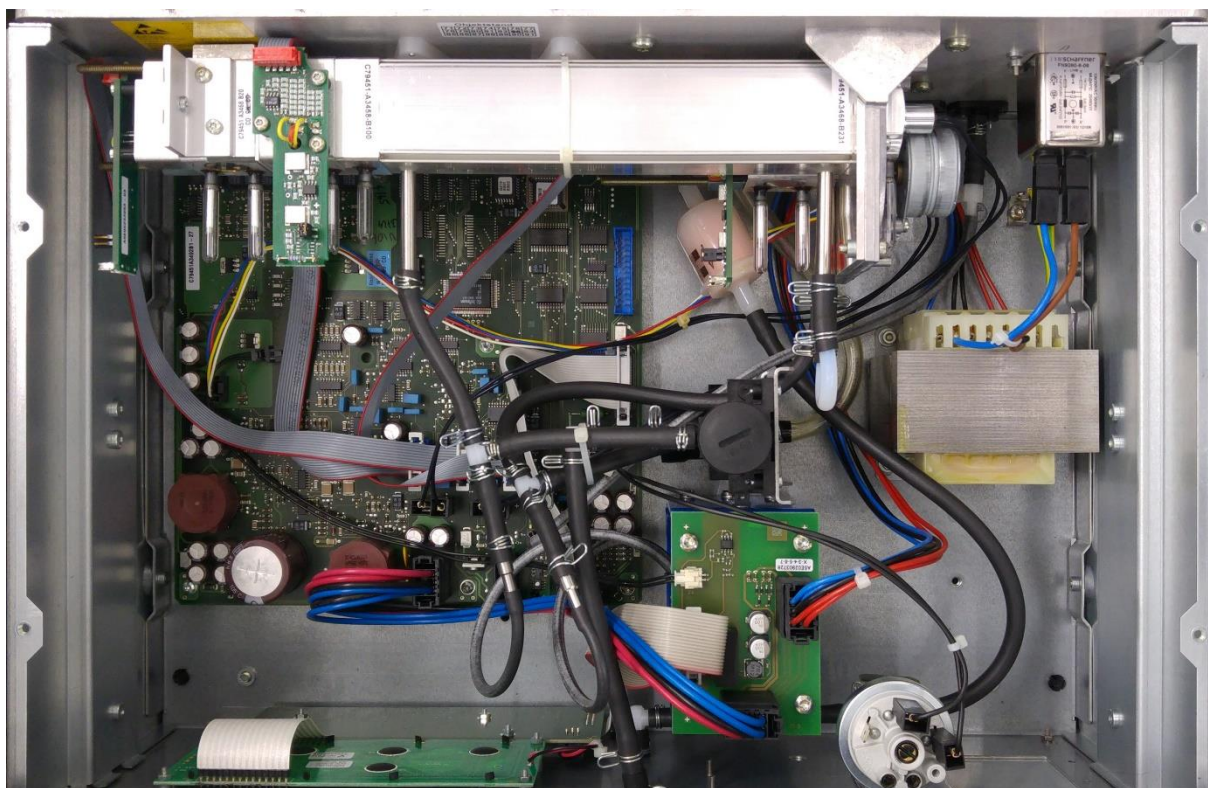
Přístroj společnosti Siemens v konfiguraci s kyvetami NDIR pro měření SO₂, CO, CO₂ a NO a paramagnetickým senzorem pro měření kyslíku. V zapojení je také konvertor pro přeměnu NO₂ na NO. Měřicí rozsahy dle tabulky (Tabulka 24).

Tabulka 24 Měřicí rozsahy Siemens Ultramat23

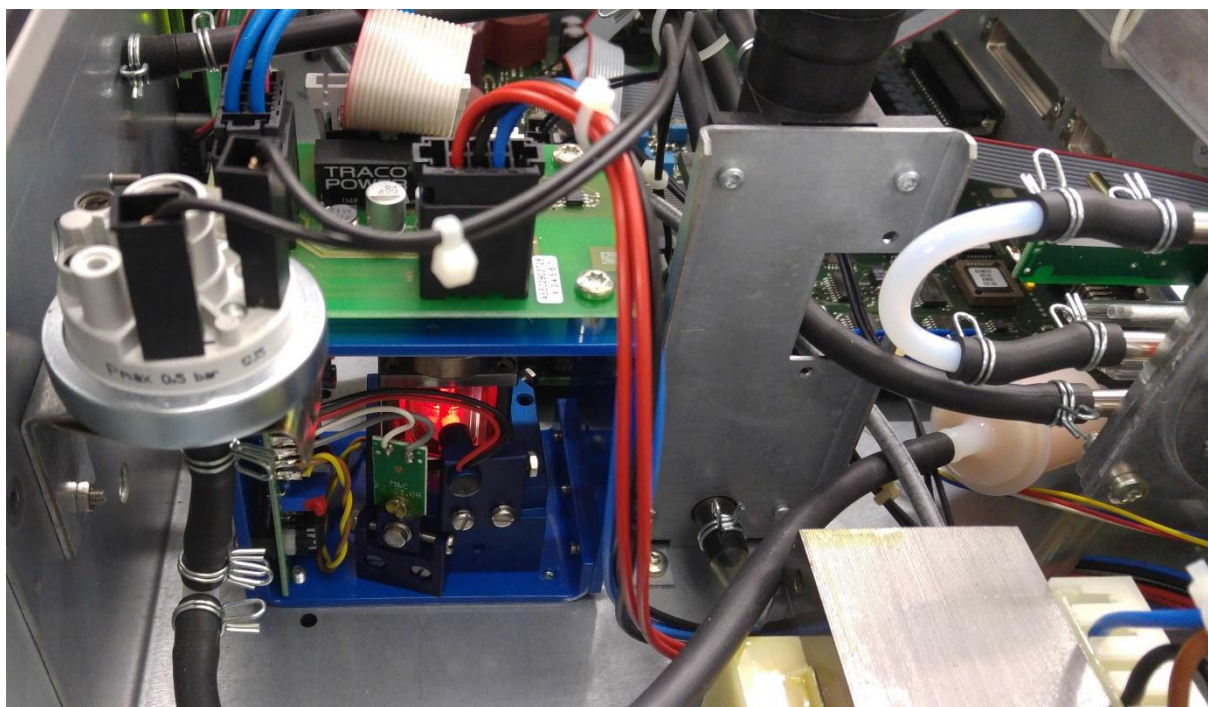
Látka	Jednotka	Rozsah
CO	[ppm]	0÷500/2 500
NO	[ppm]	0÷500/2 500
SO ₂	[ppm]	0÷500/2 500
CO ₂	[%]	0÷20/100
O ₂	[%]	0÷2/100

Vnitřní uspořádání přístroje lze vidět na obrázcích (Obrázek 10, Obrázek 11). První obrázek (Obrázek 10) ukazuje pohled shora na celý odkrytý přístroj s kyvetou

umístěnou horizontálně při horním okraji. Paramagnetický senzor je umístěn v „kleci“ modré barvy, v detailu je viditelněji zobrazen na druhém obrázku (Obrázek 11). Ovládací obrazovka je při dolním okraji obrázku (Obrázek 10).



Obrázek 10 Vnitřní uspořádání přístroje Siemens Ultramat23



Obrázek 11 Paramagnetický senzor přístroje Siemens Ultramat23

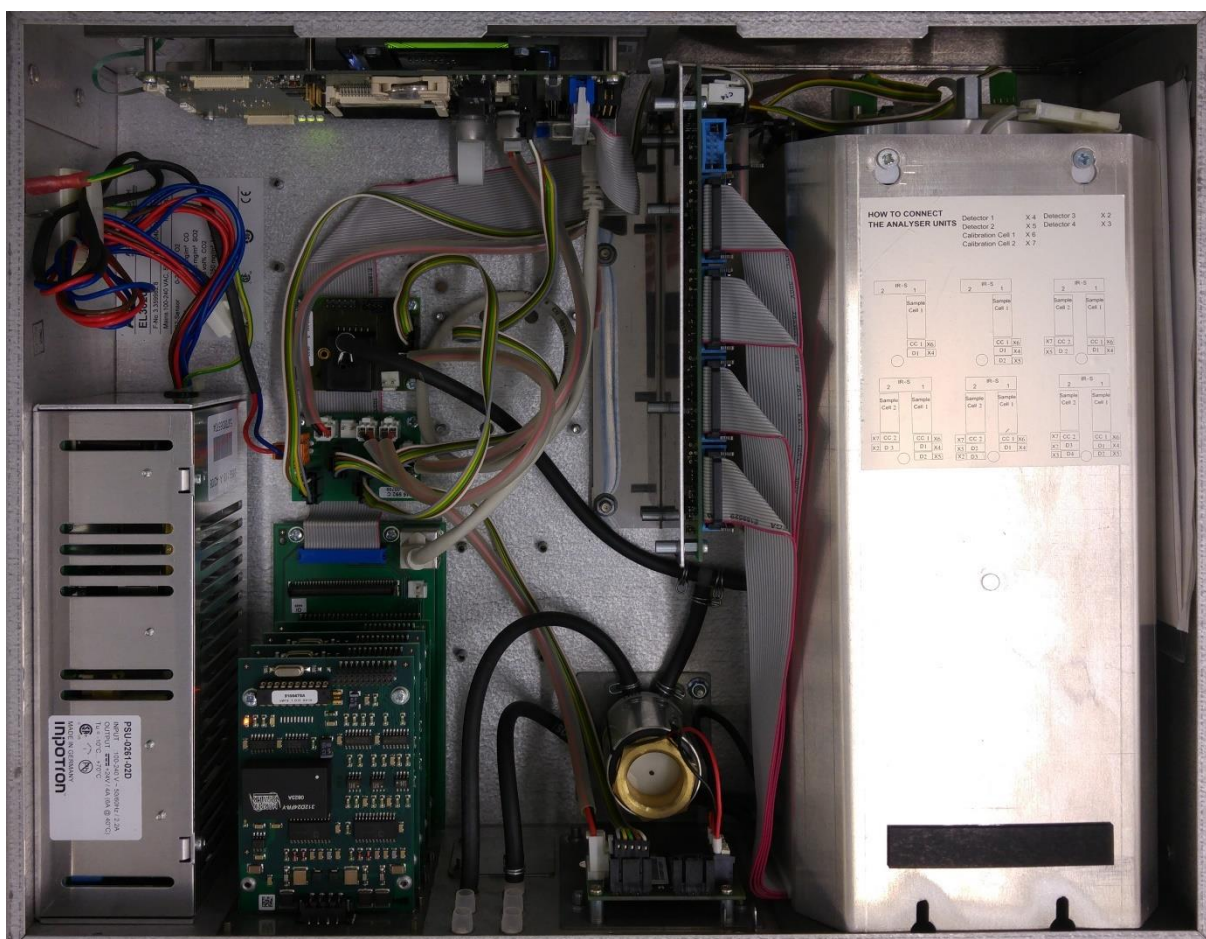
6.4.2 ABB Uras26

Přístroj společnosti ABB v konfiguraci s kyvetami NDIR pro měření SO₂, CO, CO₂ a NO a elektrochemickým senzorem pro měření kyslíku. Měřicí rozsahy dle tabulky (Tabulka 25).

Tabulka 25 Měřicí rozsahy ABB Uras26

Látka	Jednotka	Rozsah
CO	[mg/m ³]	0÷1 250
NO	[mg/m ³]	0÷1 250
SO ₂	[mg/m ³]	0÷3 000
CO ₂	[%]	0÷20
O ₂	[%]	0÷25

Vnitřní uspořádání přístroje lze vidět na obrázku (Obrázek 12). Ten zobrazuje pohled shora na odkrytý přístroj s kyvetou umístěnou vertikálně při pravém okraji. Elektrochemický senzor se nachází vedle kyvety při dolním okraji obrázku. Ovládací obrazovka směřuje dolů.



Obrázek 12 Vnitřní uspořádání přístroje ABB Uras26

6.4.3 Saxon Infralyt50

Přístroj společnosti ABB v konfiguraci s kyvetami NDIR pro měření SO₂, CO, CO₂ a C₃H₈ a elektrochemickými senzory pro měření NO a O₂. Typ z roku 2006, šest let starý. Měřicí rozsahy dle tabulky (Tabulka 26).

Tabulka 26 Měřicí rozsahy Saxon Infralyt50

Látka	Jednotka	Rozsah
CO	[ppm]	0÷1 000/5 000
NO	[ppm]	0÷5 000
SO ₂	[ppm]	0÷400/2 000
C ₃ H ₈	[ppm]	0÷200/1 000
CO ₂	[%]	0÷20
O ₂	[%]	0÷22

6.4.4 TESTA FID 2010T

Přístroj společnosti TESTA s plamenoionizačním detektorem FID pro měření organických sloučenin uhlíku. Měřicí rozsahy dle tabulky (Tabulka 27).

Tabulka 27 Měřicí rozsahy TESTA FID 2010T

Látka	Jednotka	Rozsah
TOC	[ppm]	0÷10/100/1.000/10.000/100.000

6.4.5 TESTO 350

Přenosné přístroje společnosti TESTO s dokovací stanicí ve dvou exemplářích. Každý jako stejný model v jiné konfiguraci. Měřicí rozsahy dle tabulky (Tabulka 28).

Tabulka 28 Měřicí rozsahy TESTO 350

Příloha 12010-000			
Látka		Jednotka	Rozsah
CO		[ppm]	0÷10 000
NO		[ppm]	0÷3 000
NO ₂		[ppm]	0÷500
SO ₂		[ppm]	0÷5 000
CO ₂ (IR)		[%]	0÷50
O ₂		[%]	0÷25
HC	CH ₄	[ppm]	100÷40 000
	C ₃ H ₈	[ppm]	100÷21 000
	C ₄ H ₁₀	[ppm]	100÷18 000

TESTO 350 S

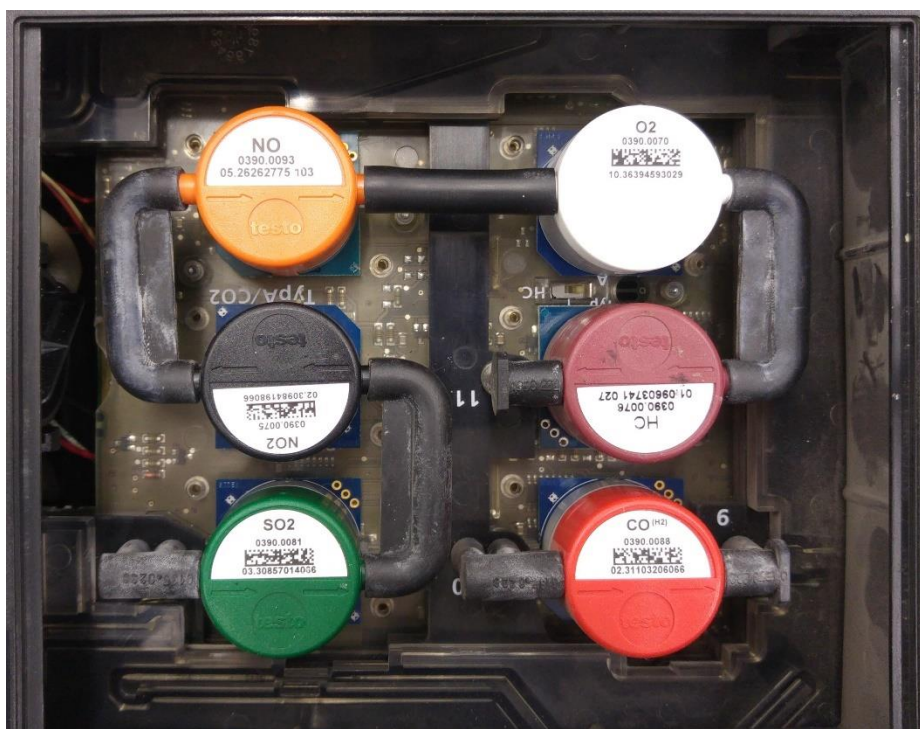
Přístroj v konfiguraci s elektrochemickými senzory pro měření O₂, CO a NO a infračerveným senzorem pro měření CO₂. Pohled zespoda na vnitřní uspořádání senzorů lze vidět na obrázku (Obrázek 13).

TESTO 350 XL

Přístroj v konfiguraci s elektrochemickými senzory pro měření O₂, CO, NO, NO₂, SO₂ a vybraných sloučenin uhlíku (metan, propan, butan). Pohled zespoda na vnitřní uspořádání senzorů lze vidět na obrázku (Obrázek 14).



Obrázek 13 Vnitřní uspořádání přístroje TESTO 350S



Obrázek 14 Vnitřní uspořádání přístroje TESTO 350XL

7 MĚŘENÍ PLYNNÝCH POLUTANTŮ

Tato kapitola popisuje krok po kroku postup měření, jaké hodnoty byly při něm zjištěny a výpočty pro zjištění nepřesností.

7.1 Přepočet jednotek

Jednotky udávající složení kalibračních plynů a odečítané z většiny přístrojů jsou ppm. Vyjadřují počet molekul/částic dané látky v jednom milionu. Udávané emisní limity a některé přístroje využívají jednotek mg/m^3 . Jednotka ppm není zavedenou jednotkou soustavy SI a lze se s ní setkat v podobě ml/m^3 . Pro přepočet slouží vzorec níže [42].

$$X[\text{mg}/\text{m}^3] = \frac{X[\text{ppm}] * M}{V_m} \quad (7.1)$$

kde $X[\text{mg}/\text{m}^3]$ je koncentrace látky X v mg/m^3 ,
 $X[\text{ppm}]$ je koncentrace látky X v ppm,
 M je molární hmotnost látky X v kg/mol ,
 V_m je molární objem ideálního plynu v l/mol .

7.2 Měření citlivosti

Citlivost přístroje závisí na množství vlivů, kterým nelze vždy předejít. Může do nich spadat kolísání teplot, tlaku, stáří přístroje, metoda měření apod. Aby došlo k zamezení vlivu, co nejvíce vstupů bylo měření prováděno v laboratoři. Probíhalo při něm k otestování přístroje v nenahřátém stavu, v nahřátém stavu a po kalibraci na měřicí rozsah. Přístroje byly kalibrovány dostupnými kalibračními plyny na horní hranici měření a okolním vzduchem byly nulovány na dolní hranici měření. Okolní vzduch má konstantní složení o nulových koncentracích látek CO, NO_x, SO₂ a CO₂ a konstantní hodnotu koncentrace kyslíku rovnu 20,9 %. Z důvodu nedostupnosti testovacích plynů s obsahem TOC bylo měření citlivosti u přístroje TESTA provedeno porovnáním odchylek měření při kalibraci na jiné rozsahy. Zjištěná data jsou zapsána v tabulkách (Tabulka 29, Tabulka 30, Tabulka 31, 0, Tabulka 33, Tabulka 34), procentuální nepřesnost je vždy vztažena k aktuální horní měřicí hranici.

Tabulka 29 Měření citlivosti Siemens ULTRAMAT23

Tabulka 20 - měření čistoty olejných SEPRAMAT						
	Jednotka	Látka				
		O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂
Před nahřátím						
Požadováno	[ppm, %]	20,9	448	456	447	18,1
Naměřeno	[ppm, %]	20,46	430	440	454	18
Chyba	[%]	0,44	3,6	3,2	1,4	0,5
Po nahřátí						
Požadováno	[ppm, %]	0	448	456	447	18,1
Naměřeno	[ppm, %]	0	439	444	456	18,2
Chyba	[%]	0	1,8	2,4	1,8	0,5
Po kalibraci						
Požadováno	[ppm, %]	20,9	98,6	101	50,3	0
Naměřeno	[ppm, %]	20,74	93	104	45	0
Chyba	[%]	0.16	1.12	0.6	1.06	0

Tabulka 30 Měření citlivosti ABB Uras26

		Látka				
	Jednotka	O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂
Před nahřátím						
Požadováno	[mg/m ³ , %]	0	920	1080	903	0
Naměřeno	[mg/m ³ , %]	0,39	1136	1147	1063	0
Chyba	[%]	1,56	17,28	5,36	5,33	0
Po nahřátí						
Požadováno	[mg/m ³ , %]	0	920	1080	903	0
Naměřeno	[mg/m ³ , %]	0,52	931	1056	877	0
Chyba	[%]	2,08	0,88	1,92	0,87	0
Po kalibraci						
Požadováno	[mg/m ³ , %]	20,9	123	135	143	0
Naměřeno	[mg/m ³ , %]	20,73	130	141	134	0
Chyba	[%]	0,68	0,54	0,45	0,32	0

Tabulka 31 Měření citlivosti Saxon Infracal50

		Jednotka	Látka				
			O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂
Před nahřátím							
Požadováno	[ppm, %]	0	736	806	316	163	16,1
Naměřeno	[ppm, %]	0,13	702	1225	295	145	16,13
Chyba	[%]	0,59	3,4	8,38	5,25	9	0,15
Po nahřátí							
Požadováno	[ppm, %]	0	736	806	316	163	16,1
Naměřeno	[ppm, %]	0,04	767	1227	307	144	16,24
Chyba	[%]	0,18	3,1	8,42	2,25	9,5	0,7
Po kalibraci							
Požadováno	[ppm, %]	20,9	98,6	101	50,3	0	0
Naměřeno	[ppm, %]	21,47	99	89	31	0	0
Chyba	[%]	2,59	0,04	0,24	4,83	0	0

Tabulka 32 Měření citlivosti TESTA FID 2010T

	Jednotka	Látka TOC
Kalibrováno na rozsah 100		
Požadováno	[ppm, %]	8000
Naměřeno	[ppm, %]	8200
Chyba	[%]	2
Kalibrováno na rozsah 10 000		
Požadováno	[ppm, %]	79,8
Naměřeno	[ppm, %]	78,3
Chyba	[%]	1,4

Tabulka 33 Měření citlivosti TESTO 350XL

	Jednotka	Látka		
		CO	NO _x	SO ₂
Před nahřátím				
Požadováno	[ppm, %]	2240	2350	2320
Naměřeno	[ppm, %]	2283	2467	2316
Chyba	[%]	0,43	3,9	0,08
Po nahřátí				
Požadováno	[ppm, %]	2240	2350	2320
Naměřeno	[ppm, %]	2226	2499	2320
Chyba	[%]	0,14	4,97	0
Po kalibraci				
Požadováno	[ppm, %]	98,6	101	50,3
Naměřeno	[ppm, %]	95	97	49
Chyba	[%]	0,04	0,13	0,03

Tabulka 34 Měření citlivosti TESTO 350S

	Jednotka	Látka	
		CO	NO _x
Před nahřátím			
Požadováno	[ppm, %]	2240	2350
Naměřeno	[ppm, %]	2220	1941
Chyba	[%]	0,2	13,63
Po nahřátí			
Požadováno	[ppm, %]	2240	2350
Naměřeno	[ppm, %]	2132	2095
Chyba	[%]	1,08	8,5
Po kalibraci			
Požadováno	[ppm, %]	98,6	101
Naměřeno	[ppm, %]	92	75
Chyba	[%]	0,07	0,87

7.3 Měření posunu

Jedním z kritérií k volbě vhodné metody je velikost posunu měření po určité době. Doba se mění v závislosti na výrobci a typu přístroje, ale normami sledovaná je udávána na 24 hodin. Přístroje jsou zkaličrovány a ponechány zapnuté po určenou

dobu. Po jejím uplynutí dojde k porovnání hodnot naměřených pro dolní a horní mez měření. Toto měření proběhlo u přístrojů Siemens ULTRAMAT23, ABB Uras26 a Saxon Infralyt50 a u přístroje TESTA FID 2010T po dobu 8 hodin a 2,5 hodiny z důvodu bezpečnosti při zacházení s vodíkem. Zjištěné posuvy jsou zapsány v tabulkách (Tabulka 35, Tabulka 36, Tabulka 37, 0), procentuální nepřesnost je vztažena k aktuální horní měřicí hranici.

Tabulka 35 Měření posuvu Siemens ULTRAMAT23

	Jednotka	Látka				
		O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂
Kalibrováno	[ppm, %]	20,9	427	456	447	18,1
Horní hranice	[ppm, %]	20,83	426	449	455	18
Dolní hranice	[ppm, %]	0	0	0	0	0
Posun horní hranice	[%]	0,07	0,2	1,4	1,6	0,5
Posun dolní hranice	[%]	0	0	0	0	0

Tabulka 36 Měření posuvu ABB Uras26

	Jednotka	Látka				
		O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂
Kalibrováno	[mg/m ³ , %]	20,9	920	1080	903	16,1
Horní hranice	[mg/m ³ , %]	20,88	426	449	455	18
Dolní hranice	[mg/m ³ , %]	0,02	1	1	-7	0,01
Posun horní hranice	[%]	0,08	0,16	0,08	0,1	0,25
Posun dolní hranice	[%]	0,08	0,08	0,08	0,23	0,05

Tabulka 37 Měření posuvu Saxon Infralyt50

	Jednotka	Látka					
		O ₂	CO	NO	SO ₂	C ₃ H ₈	CO ₂
Kalibrováno	[ppm, %]	20,9	736	806	316	163	16,1
Horní hranice	[ppm, %]	21,47	818	789	291	167	16,23
Dolní hranice	[ppm, %]	0,07	0	0	0	19	0
Posun horní hranice	[%]	0,32	8,2	1,7	6,25	2	0,65
Posun dolní hranice	[%]	2,59	0	0	0	9,5	0

Tabulka 38 Měření posuvu TESTA FID 2010T

	Jednotka	Látka
		TOC
Kalibrováno	[ppm]	79,8
Horní hranice	[ppm]	79,1
Dolní hranice	[ppm]	-0,13
Posun horní hranice	[%]	0,7
Posun dolní hranice	[%]	1,3

7.4 Náběhová charakteristika

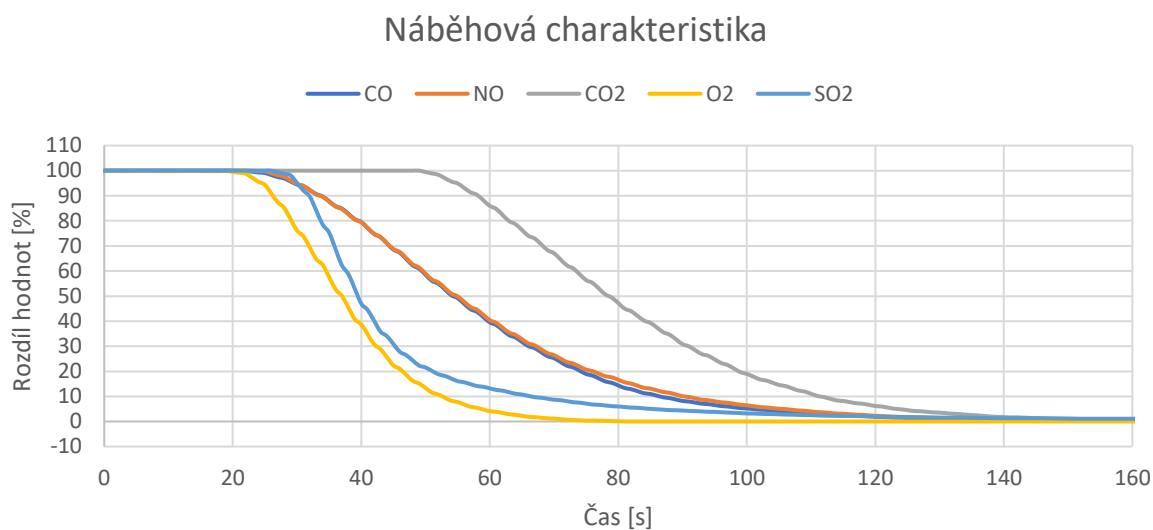
Kritériem při volbě správné metody je také doba odezvy měřicího přístroje. Tato veličina je závislá hlavně na délce vzorkovací trati, ale může ji také ovlivnit množství plynu, který je v čase nasáván a schopnost senzoru zpracovat změny složení měřeného plynu. Aby byla zjištěna doba, za kterou dokážou přístroje zaregistrovat změnu složení a přizpůsobit se jí, byla provedena náběhová charakteristika. Probíhá připojením sledovaného plynu a postupným zápisem hodnot do ustálení na výsledné hodnotě. Stejným způsobem se užíje při čištění přístroje od měřeného plynu okolním vzduchem. Měření proběhlo u přístrojů Siemens ULTRAMAT23, Saxon Infralyt50 a ABB Uras26.

7.4.1 Siemens ULTRAMAT23

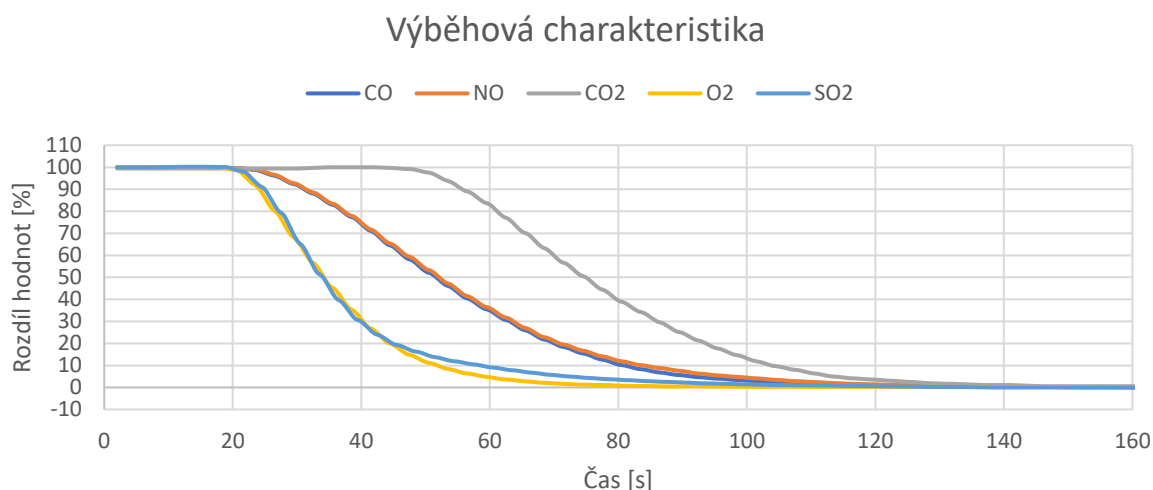
K úplnému ustálení došlo po době v rozmezí 150÷160 s. Doby potřebné k dosažení 95 % hodnoty jsou uvedené v tabulce (Tabulka 39) a průběhy měření v grafech (Obrázek 15, Obrázek 16). Objemový průtok plynu analyzátozem byl 60 l/h. Výsledky jsou vyjádřeny v % z nejvyšší naměřené hodnoty v závislosti na čase v sekundách.

Tabulka 39 Reakční doba Siemens ULTRAMAT23

	Náběh na měřenou hodnotu				
Látka	CO	NO	CO ₂	O ₂	SO ₂
Čas [s]	100	112	124	58	86
	Náběh na nulovou hodnotu				
Látka	CO	NO	CO ₂	O ₂	SO ₂
Čas [s]	93	99	114	60	73



Obrázek 15 Náběhová charakteristika Siemens ULTRAMAT23



Obrázek 16 Výběhová charakteristika Siemens ULTRAMAT23

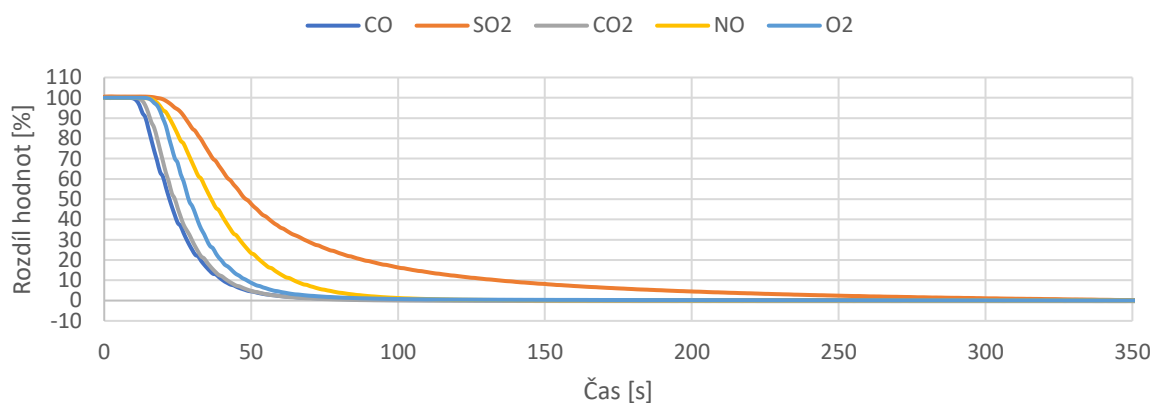
7.4.2 ABB Uras26

K úplnému ustálení došlo po době v rozmezí 350÷550 s. Doby potřebné k dosažení 95 % hodnoty jsou uvedené v tabulce (Tabulka 40) a průběhy měření v grafech (Obrázek 17, Obrázek 18). Objemový průtok plynu analyzátozem byl 70 l/h. Výsledky jsou vyjádřeny v % z nejvyšší naměřené hodnoty v závislosti na čase v sekundách.

Tabulka 40 Reakční doba ABB Uras26

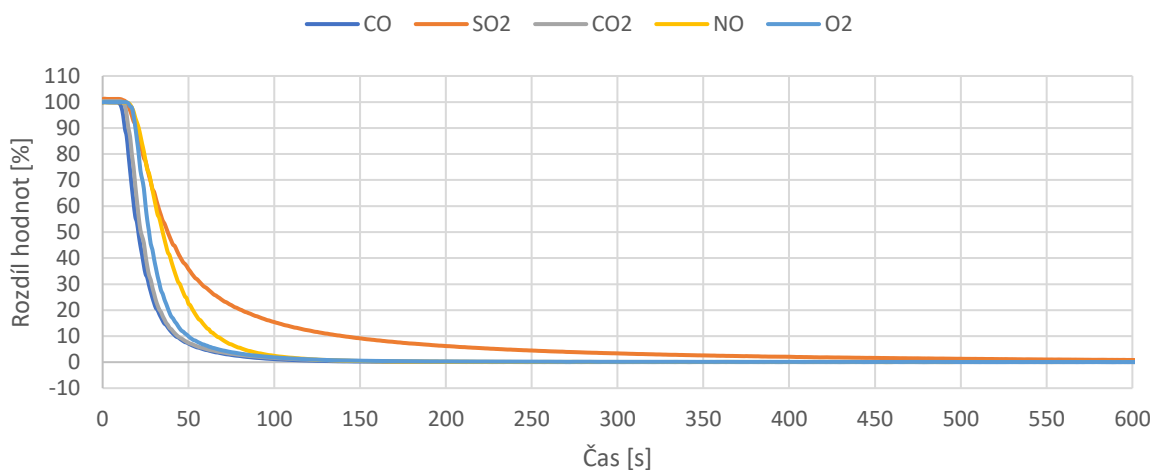
	Náběh na měřenou hodnotu				
Látka	CO	SO ₂	CO ₂	NO	O ₂
Čas [s]	50	191	50	76	58
	Náběh na nulovou hodnotu				
Látka	CO	SO ₂	CO ₂	NO	O ₂
Čas [s]	59	232	61	83	68

Náběhová charakteristika



Obrázek 17 Náběhová charakteristika ABB Uras26

Výběhová charakteristika



Obrázek 18 Výběhová charakteristika ABB Uras26

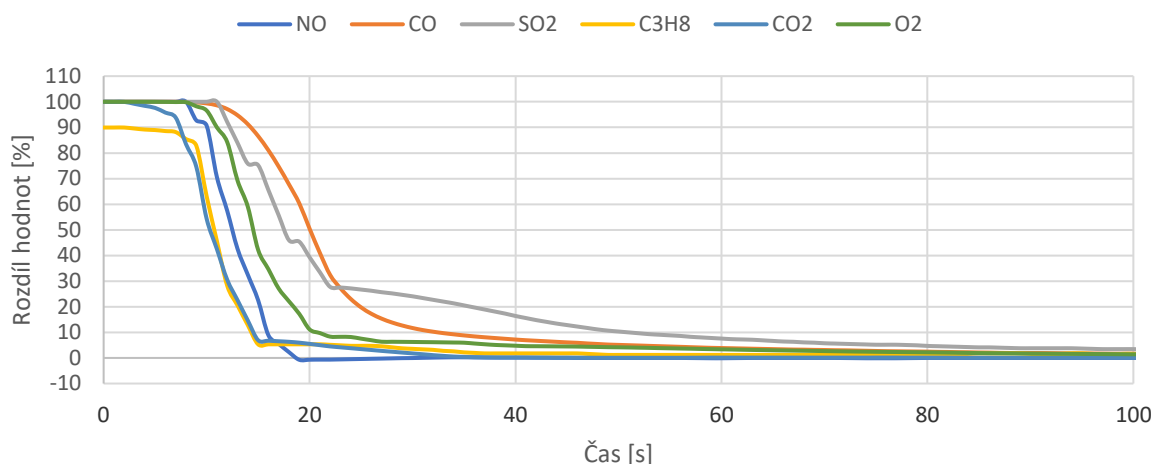
7.4.3 Saxon Infralyt50

K úplnému ustálení došlo po době 150 s. Doby potřebné k dosažení 95 % hodnoty jsou uvedené v tabulce (Tabulka 41) a průběhy měření v grafech (Obrázek 19, Obrázek 20). Objemový průtok plynu analyzátozem byl 90 l/h. Výsledky jsou vyjádřeny v % z nejvyšší naměřené hodnoty v závislosti na čase v sekundách.

Tabulka 41 Reakční doba Saxon Infralyt50

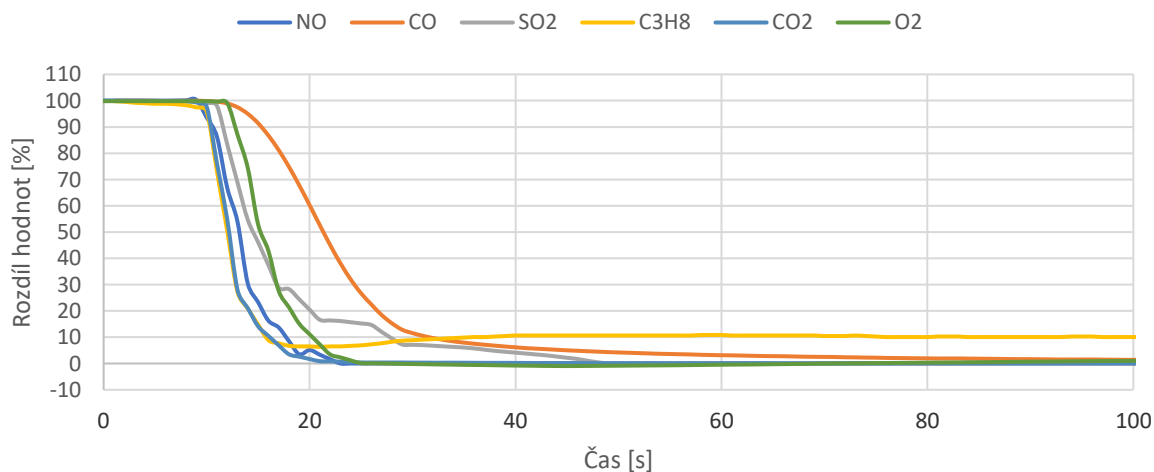
	Náběh na měřenou hodnotu					
Látka	NO	CO	CO ₂	SO ₂	C ₃ H ₈	O ₂
Čas [s]	18	31	21	79	14	39
	Náběh na nulovou hodnotu					
Látka	NO	CO	CO ₂	SO ₂	C ₃ H ₈	O ₂
Čas [s]	22	48	18	37	30	22

Náběhová charakteristika



Obrázek 19 Náběhová charakteristika Saxon Infralyt50

Výběhová charakteristika



Obrázek 20 Výběhová charakteristika Saxon Infralyt50

7.5 Výpočty do protokolu o měření

Součástí protokolu o jednorázovém měření je rozšířená nejistota naměřeného obsahu analytu. Nejistota je spočtena podle postupů uvedených v normách příslušných danému způsobu měření. Akreditované osoby na tyto výpočty využívají specializované

programy pro rychlé a automatické spočtení. Vlivy jednotlivých faktorů na přesnost jsou uvedeny zvlášť pro každý senzor v návodu k užitému přístroji.

Mezi ovlivňující vlivy patří změny tlaku, teploty, průtoku přístrojem a napětí během měření, odchylka od linearity měření, posun nulovací a horní měřicí hodnoty, chyba opakovatelnosti a kalibračních plynů. V přítomnosti rušících látek se jejich vliv připočítává. Konstanty uvedené v návodu přístroje určují nejvyšší možný vliv, ten aktuální může být laboratorně změřen a z něj vypočtena konstanta pro další určování úplných nejistot měření.

Tabulka (Tabulka 42) uvádí možné kolísání stavových veličin při měření a další nepřesnosti, jako je kalibrační plyn. V přílohách 1 a 2 jsou uvedeny koeficienty pro jednotlivé vlivy a senzory užitá při měření na přístroji Siemens ULTRAMAT23 spolu s výpočtem celkové nepřesnosti pomocí postupu dle užitých norem [41] [42] [48] [73].

Tabulka 42 Podmínky odběru vzorku

Specifické podmínky	Hodnota/Interval hodnot	
	Paramagnetická	NDIR
Metoda		
Měřicí rozpětí analyzátoru	0÷100 %	0÷500 ml/m ³
Kolísání průtoku vzorku plynu	60 l/h ± 2 l/h	
Teplota při nastavení měřicího rozpětí	291 K	
Kolísání okolní teploty během měření	290 K až 292 K	
Kolísání elektrického napětí	230 V ± 5 %	
Barometrický tlak během měření	99,5 kPa	
Kolísání barometrického tlaku	99 kPa až 100 kPa	
Zkušební plyn s nejistotou	± 2 %	

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

8.1 Měření citlivosti

Z proběhlého měření vyplývají citlivosti jednotlivých přístrojů a senzorů na koncentrace látek. Normami pro jednotlivé sledované postupy měření je stanoveno, aby maximální odchylka vlivem citlivosti byla menší nebo rovna dvěma desetinám procenta z měřicího rozsahu pro paramagnetickou metodu [48] a dvěma procentům v případě ostatních metod [42] [47]. Výsledky naměřené v nenahřátém stavu a před kalibrací vykazují větší odchylky než ty po kalibraci. Největší význam mají odchylky po kalibraci, protože v reálném provozu se pracuje s přístroji pouze v tomto stavu. V tabulce (Tabulka 43) jsou uvedeny relativní odchylky měření po kalibraci na měřicí rozsah.

Tabulka 43 Vyhodnocení měření citlivosti po kalibraci

Přístroj	Látka [%]					
	O ₂	CO	NO	SO ₂	NO _x	TOC
Siemens	0,16	1,12	0,6	1,06	-	-
ABB	0,68	0,54	0,45	0,32	-	-
Saxon	2,59	0,04	0,24	4,83	-	-
TESTO XL	-	0,04	-	0,03	0,13	-
TESTO S	-	0,07	-	-	0,87	-
TESTA	-	-	-	-	-	2
						1,4

Výsledně bylo zjištěno, že největší odchylky vykazuje přístroj Saxon, který je v provozu nejdéle. Avšak malou chybu lze nalézt u elektrochemického senzoru na měření NO, v porovnání se značnou chybou senzoru stejného typu pro měření O₂. Tento přístroj je vhodný k měření koncentrací látek NO a CO. Senzor měření na kyslíku je nutno vyměnit a nelze dále používat na měření SO₂.

Značné odchylky vykazuje také přístroj Siemens, ty jsou ale dány rozsahem měření, který je nejmenší. Tento přístroj může díky tomu poskytovat nejmenší absolutní odchylky. Paramagnetický senzor i tak zajišťuje vysokou přesnost měření. V případě všech látek splňuje požadavky na fungování.

Přístroj společnosti ABB poskytuje výsledky s nízkou nepřesností pro všechny sloučeniny a lze na jeho výsledcích vidět porovnání paramagnetické metody s elektrochemickou. Paramagnetická metoda je přesnější.

Přenosné přístroje společnosti TESTO s elektrochemickými senzory vykazují nízkou relativní nepřesnost i proto, že byly měřeny nízké koncentrace a jejich horní hranice měřicího rozsahu je vysoká a fixně daná. Jediná zvýšená hodnota vyvstala u přístroje TESTO 350S při měření NO_x.

Odchylky měření přístroje TESTA nejsou příliš vysoké, je-li bráno v úvahu, že byly získány při kalibraci zařízení na rozsah tisícinásobně jiné velikosti. I tak lze vyvodit, že poskytne lepší výsledky při kalibraci na větší rozsah a zjištění hodnoty uvnitř něj než naopak.

8.2 Měření posunu

Obzvláště při kontinuálním měření je nutné znát, jak se změní přesnost jeho měření v čase. Není-li tento vliv znám, tak může dojít k nepřijetí výsledků měření a bude vyžadováno nové. Normami příslušnými pro vybrané postupy měření je určena horní hranice posuvu jako dvě desetiny procenta z měřicího rozsahu pro dolní i horní hranici v případě paramagnetické metody [48], pět procent u měření plamenoionizačním detektorem [47] a dvě procenta u metod ostatních [42]. V tabulce (Tabulka 44) jsou uvedeny hodnoty posuvu horní a spodní hranice měření po 24 hodinách a 8 hodinách v případě přístroje společnosti TESTA.

Tabulka 44 Vyhodnocení měření posunu

Posuv horní hranice [%]							
Přístroj	Látka						
	O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂	C ₃ H ₈	TOC
Siemens	0,07	0,2	1,4	1,6	0,5	-	-
ABB	0,08	0,16	0,08	0,1	0,25	--	-
Saxon	0,32	8,2	1,7	6,25	0,65	2	-
TESTA	-	-	-	-	-	-	0,7
Posuv dolní hranice [%]							
Přístroj	Látka						
	O ₂	CO	NO	SO ₂	CO ₂	C ₃ H ₈	TOC
Siemens	0	0	0	0	0	-	-
ABB	0,08	0,08	0,08	0,23	0,05	-	-
Saxon	2,59	0	0	0	0	9,5	-
TESTA	-	-	-	-	-	-	1,3

Výsledky ukazují, že k posuvu docházelo hlavně na horní hranici měřicího rozsahu. Rozdíly byly patrné hlavně u přístroje společnosti Saxon, mohou být způsobeny hlavně stářím přístroje, či ještě nedokonalostí konstrukce. Elektrochemický senzor na měření oxidu dusnatého vykazuje spolu s infračerveným měřením oxidu uhličitýho dostatečně přesné výsledky.

Vyšší posuv se vyskytnul také u přístroje Siemens při měření oxidu siřičitého a dusnatého. Tyto hodnoty mohou být způsobeny malou velikostí měřicího rozsahu, nicméně pořád spadají pod hodnotu dvou procent.

U přístroje společnosti TESTA vybaveného FID detektorem došlo k určitému posuvu, ale nelze jej plně vyhodnotit, protože neproběhlo měření po dobu 24 hodin. Dá-li se předpokládat linearita ztráty přesnosti, pak by měl i po 8hodinovém měření stále spadat do kategorie vhodných přístrojů.

8.3 Měření náběhových charakteristik

Vhodnost metody se posuzuje i z hlediska doby odezvy na změnu vstupního plynu. Ta by neměla u měřicí soustavy přesáhnout 25 % doby měření daného časového úseku a u analyzátoru nemá být delší 200 sekund [42] [47] [48]. Z měření citlivosti vyplývá, že ne všechny dostupné přístroje vykazovaly dostatečnou přesnost, a proto byla pro stanovení doby náběhu sledována hranice 95 % z výsledné ustálené hodnoty, která byla naměřena. Tyto časové úseky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 45).

Tabulka 45 Doby náběhu

Náběh na měřený plyn [s]						
Přístroj	Látka					
	CO	NO	CO ₂	O ₂	SO ₂	C ₃ H ₈
Siemens	100	112	124	58	86	-
ABB	50	76	50	58	191	-
Saxon	31	18	21	39	79	14

Výběh z měřeného plynu [s]						
Přístroj	Látka					
	CO	NO	CO ₂	O ₂	SO ₂	C ₃ H ₈
Siemens	93	99	114	60	73	-
ABB	59	83	61	68	232	-
Saxon	48	22	18	22	37	30

Výsledky mohou být ovlivněny hlavně délkou potrubí, která byla u užitých přístrojů srovnatelně dlouhá a také objemovým tokem analyzovaného plynu. Hodnoty objemového toku jsou zobrazeny v tabulce (Tabulka 46).

Tabulka 46 Objemový tok plynu

Přístroj	Objemový tok [l/h]
Siemens	60
ABB	70
Saxon	90

Z naměřených hodnot vyplývá, že přístroj společnosti Saxon se dokázal dostat nejdříve na 95 % výsledné hodnoty na infračerveném senzoru i na detektorech elektrochemických. Dalším se na danou hranici dostal přístroj společnosti ABB u všech sloučenin až na oxid siřičitý. Jako poslední zaznamenal dostatečnou koncentraci přístroj společnosti Siemens. Všechny přístroje reagovaly na měřený plyn v pořadí podle zmenšujícího se průtoku plynu s výjimkou oxidu siřičitého u přístroje společnosti ABB.

8.4 Protokol o měření

Datum měření: 3.5. 2019
Datum vystavení: 18.5.2019

Provedl: Vítězslav Stach
Schválil: Vítězslav Stach

Provozovatel

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Technická 2896/2
616 69 Brno

Účel měření

Účelem je stanovit koncentrace znečišťujících látek

Měřený zdroj

Tlaková lahev s testovacím plynem

Měřicí místo

Čistá laboratoř, napojení potrubím přímo do přístroje

Vzduchotechnické parametry

Tabulka 47 Vzduchotechnické parametry

Měřená veličina	Použitá technika	Metoda
Diferenční tlak	Elektronický tlakový snímač	ČSN ISO 10780
Atmosférický tlak	Elektronický barometr	ČSN ISO 10780
Teplota	Termočlánek typ K	ČSN ISO 10780

Rozsah měření

Koncentrace plyných látek (CO, NO, SO₂, O₂) pomocí NDIR (ČSN EN 15058, ČSN ISO 7935, ČSN ISO 21258) a paramagnetické metody (ČSN EN 14789)

Použitý přístroj

Siemens ULTRAMAT23

Použité rozsahy

Tabulka 48 Použité rozsahy

Složka	Rozsah	Jednotka	Nejistota [%]
CO	0÷500	ppm	2
NO	0÷500	ppm	2
SO ₂	0÷500	ppm	2
O ₂	0÷100	%	2

Použité kalibrační plyny

Tabulka 49 Použité kalibrační plyny

Složka	Nulovací plyn	Kalibrační plyn	Jednotka
CO	upravený vzduch	448	ppm v N ₂
NO	upravený vzduch	456	ppm v N ₂
SO ₂	upravený vzduch	447	ppm v N ₂
O ₂	N ₂	upravený vzduch	%

Odběr a úprava vzorku

Tabulka 50 Odběr a úprava vzorku

Metoda odběru	SOP4
Netopený PTFE svod	
Chladič JCP-S + HB	
Vstupní filtr, dopravní čerpadlo vzorku, konvertor NO ₂ na NO, průtokoměr vzorku	

Přehled výsledků

Poznámky k tabulkám výsledků:

1. Všechny výpočty byly prováděny s nezaokrouhlenými čísly. Zaokrouhlování hodnot v tabulkách výsledků bylo provedeno podle statistických pravidel.
2. Oxidy dusíku jsou vyjádřeny jako oxid dusnatý (NO).
3. Nejistota je rozšířená nejistota měření odpovídající 95% intervalu spolehlivosti s koeficientem rozšíření $k = 2$.

Tabulka 51 Přehled výsledků

Znečišťující látka		Oxid uhelnatý – CO
Emisní limit	mg/m ³ suchý plyn, normální podmínky	
Koncentrace – přepočtené suchý plyn, normální podmínky	Průměrná hodnota [mg/m ³]	
	116 ± 20	
Koncentrace – naměřené suchý plyn	Průměrná hodnota [ppm]	
	93 ± 16	
Znečišťující látka		Oxidy dusíku – NO _x (jako oxid dusnatý)
Emisní limit	mg/m ³ suchý plyn, normální podmínky	
Koncentrace – přepočtené suchý plyn, normální podmínky	Průměrná hodnota [mg/m ³]	
	139 ± 24	
Koncentrace – naměřené suchý plyn	Průměrná hodnota [ppm]	
	104 ± 18	
Znečišťující látka		Oxid siřičitý – SO ₂
Emisní limit	mg/m ³ suchý plyn, normální podmínky	
Koncentrace – přepočtené suchý plyn, normální podmínky	Průměrná hodnota [mg/m ³]	
	129 ± 52	
Koncentrace – naměřené suchý plyn	Průměrná hodnota [ppm]	
	45 ± 18	
Hodnoty stavových veličin		
Teplota	T [K]	291 ± 1
Absolutní tlak	p [Pa]	99 500 ± 500

Vyhodnocení

Pro zvolený zdroj a měřené látky není udán žádný emisní limit.

Veličiny a značky

Tabulka 52 Veličiny a značky

značka	veličina	jednotka
C _{ppm}	střední měřená objemová koncentrace v suchém plynu	ppm
C _{SN}	střední hmotnostní koncentrace znečišťujících látek v nosném plynu přepočtená na suchý plyn a normální podmínky	mg/m ³
p	statický tlak nosného plynu	Pa
T	střední teplota nosného plynu	K

Literatura

Tabulka 53 Literatura

1	ČSN ISO 10780 (83 4772) Stacionární zdroje emisí - Měření rychlosti a objemového průtoku plynů v potrubí
2	ČSN ISO 7935 (83 4701) Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace emisí oxidu siřičitého - Charakteristiky automatizovaných měřicích metod
3	ČSN EN 14792 (83 4710) Stacionární zdroje emisí - Stanovení oxidů dusíku (NO _x)- Referenční chemiluminiscenční metoda
4	ČSN EN 15058 (83 4740) Stacionární zdroje emisí - Stanovení oxidu uhelnatého (CO) - Referenční metoda – Nedisperzní infračervená spektrometrie
5	ČSN EN 14789 (83 4730) Stacionární zdroje emisí - Stanovení kyslíku (O ₂) - Referenční metoda – Paramagnetická metoda
6	Zákon 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší
7	Vyhláška 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší

ZÁVĚR

Lidé v průběhu svého života vyprodukují velké množství odpadu, o které musí být postaráno. Jednou z možností je spalování ve spalovnách odpadu, jež získané teplo dokážou využít. Vedlejším produktem jsou však emise nebezpečných sloučenin, které ohrožují nejen lidi, ale také celou planetu svým vlivem na globální klima. Proto monitorování toho, co lidstvo vypouští do světa v jakékoli podobě je namístě. V dnešní době je už kladen velký důraz na čisté životní prostředí a na ekologii jako takovou. Nebývalo tomu tak vždy a byly vyvinuty účinné postupy, jak emise snižovat a měřit.

Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou měření emisí v zařízeních na spalování odpadu. Práce popisuje, jak česká a evropská legislativa pohlíží na měření emisí a jakým směrem by se mohla vyvíjet. Dále jsou popsány jednotlivé sloučeniny, jež musí být sledovány a kolik jich smí být vypouštěno. Součástí je také výčet metod pro zjišťování koncentrace daných látek ve spalínách, možnosti a postupy jejich uplatnění a vybrané přístroje umožňující analýzu odpadního plynu. Poslední část se zabývá citlivostí přístrojů, jejím zjištěním, změnou přesnosti výsledků v průběhu měření a dobou, za kterou jsou použita zařízení schopná přesně zaznamenávat data. Uveden je také protokol o měření emisí zdroje, kterým byla tlaková lahev.

V návaznosti na toto dílo vzniká prostor pro zjištění konečné podoby nové evropské legislativy, jež se tímto tématem zabývá a jaký bude mít vliv na zákony České republiky. Vhodnou nástavbou by mohl být popis, či vývoj nových a experimentálních metod na měření a snižování množství emisí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Seznam spaloven odpadů v ČR. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/spalovny/index.html>
- [2] ČT 1, Události: Nové spalovny v Česku?. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/articles_151111_Udalosti_Manhart
- [3] ALBRECHT, Jan. *Termické zpracování odpadů II: zařízení pro čištění spalín*. Brno, 2010, 59 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vojtěch Turek, Ph.D.
- [4] *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Working Draft in Progress*. Seville: Edificio Expo, 2018, 747 s.
- [5] *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. Seville: Edificio Expo, 2006, 638 s.
- [6] THORŽ, Franta. *Emise, jejich měření a principy konstrukce systému pro jejich snižování*. Brno, 2011, 46 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Marián Laurinec.
- [7] NÁHLÍK, Tomáš. *Emisní normy pro motorová vozidla a měření emisí*. Brno, 2015, 61 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Josef Štětina, Ph.D.
- [8] BAŠTA, Tomáš. *Metody měření emisí tuhých látek ve spalínách*. Brno, 2015, 58 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.
- [9] *Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší*.
- [10] *Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*.
- [11] *Věstník MŽP. Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/vestnik_mzp
- [12] ČSN EN 15259. *Kvalita ovzduší - Měření emisí ze stacionárních zdrojů - Požadavky na měřicí úseky, stanoviště, cíl měření, plán měření a protokol o měření*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, 72 s. Třídící znak: 834785.
- [13] ISKO - Informační systém kvality ovzduší. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/
- [14] *Věstníky MZE. Ministerstvo zemědělství* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/vestniky-mze/>
- [15] HARRISON, Roy M. *Pollution: Causes, effects, and control*. 4th. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001. ISBN 08-540-4621-6.

- [16] Oxid uhelnatý. *Státní zdravotní ústav* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/cely-clanek-1>
- [17] Oxidy dusíku (NO_x/NO₂). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf
- [18] ODHAD ZDRAVOTNÍCH RIZIK ZE ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ: ČESKÁ REPUBLIKA - ROK 2017. *Státní zdravotní ústav* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/dokumenty_zdravi/rizika_CRi_2017.pdf
- [19] Oxid siřičitý (SO₂). *Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://zuova.cz/Home/Clanek/Oxid-Siricity>
- [20] ČSN EN 481. *Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření poletavého prachu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994, 16 s. Třídící znak: 833621.
- [21] HOLLEROVÁ, Jitka, Ing. Prašnost na pracovišti. *Státní zdravotní ústav* [online]. 14. listopad 2007 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>
- [22] KESSELMEIER, J. a M. STAUDT. Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): An Overview on Emission, Physiology and Ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry* [online]. 1999, May 1999, **33**(1), 23-88 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://link.springer-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/content/pdf/10.1023%2FA%3A1006127516791.pdf>
- [23] Chlor a anorganické sloučeniny (jako HCl). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/chlor_a_anorganicke_slouceniny.pdf
- [24] Fluor a anorganické sloučeniny (jako HF). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/38>
- [25] PCDD + PCDF (dioxiny + furany) (jako TEQ). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/PCDD+_PCDF.pdf
- [26] KUNTSEVICH, Anatolii D. Systematic treatment and assessment of the risks due to superecotoxicants. *Systematic treatment and assessment of the risks due to superecotoxicants* [online]. Russia: Russian Chemical Reviews, 1991, 253 - 256 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://iopscience-iop-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/article/10.1070/RC1991v060n03ABEH001046/pdf>
- [27] Imise těžkých kovů obsažených v prašném aerosolu. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap_0236/kap_0236.htm
- [28] MCNUTT, Marcia. Mercury and Health. *Science* [online]. 2013, 27 September 2013, **341**(6153), 1430 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://science-sciencemag-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/content/341/6153/1430.full>

- [29] *Zdravotní důsledky a rizika znečištění ovzduší: Odborná zpráva za rok 2016* [online]. Praha: SZÚ, 2016 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/odborne_zpravy/OZ_16/ovzdusi_2016.pdf
- [30] ČSN EN ISO 12846. *Kvalita vod - Stanovení rtuti - Metoda atomové absorpční spektrometrie (AAS) po zkoncentrování a bez něj*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 20 s. Třídící znak: 757439.
- [31] Aktuální hodnoty monitorovaných emisí: Měřené dne 16.2.2019 v 10:00 hod. In: *Pražské služby* [online]. Praha: Pražské služby, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: https://www.psas.cz/emissions/charts/emission_chart.png
- [32] Energetické využívání odpadů: Zařízení na energetické využití odpadu - ZEVO. *Pražské služby a.s.* [online]. Praha: Pražské služby, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE%20140410-Model\(1\).pdf](https://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE%20140410-Model(1).pdf)
- [33] ČSN 83 4711. *Měření emisí oxidu siřičitého, oxidu sírového, kyseliny sírové a celkového obsahu oxidů síry ze zdrojů znečišťování ovzduší. Stanovení celkového obsahu oxidu sírového a kyseliny sírové a obsahu oxidu siřičitého*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1983, 23 s. Třídící znak: 834711.
- [34] ČSN EN 14791. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení oxidu siřičitého - Referenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 72 s. Třídící znak: 834710.
- [35] ČSN 83 4751. *Ochrana ovzduší. Stanovení emisí chloru a chlorovodíku ze stacionárních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1988, 21 s. Třídící znak: 834751.
- [36] ČSN 83 4752. *Ochrana ovzduší. Stanovení emisí fluoru ze stacionárních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1990, 26 s. Třídící znak: 834752.
- [37] ČSN 83 4721. *Ochrana ovzduší. Stanovení emisí oxidů dusíku ze stacionárních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1988, 32 s. Třídící znak: 834721.
- [38] ČSN EN 1911. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace plynných chloridů vyjádřených jako HCl - Normovaná referenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 40 s. Třídící znak: 834750.
- [39] ČSN EN 14792. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení oxidů dusíku - Standardní referenční chemiluminiscenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 60 s. Třídící znak: 834722.
- [40] BARTOVSKÝ, Tomáš. *Analyzátory emisí*. Praha: VUTSE SERVIS, 1994.

- [41] ČSN EN ISO 21258. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení oxidu dusného (N₂O) - Referenční metoda: Metoda nedisperzní infračervené spektrometrie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 36 s. Třídící znak: 834724.
- [42] ČSN EN 15058. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení oxidu uhelnatého - Standardní referenční metoda - Nedisperzní infračervená spektrometrie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 56 s. Třídící znak: 834740.
- [43] ČSN EN ISO 13199. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení celkového obsahu těkavých organických látek (TVOC) v odpadních plynech z technologických procesů - Metoda nedisperzní infračervené spektrometrie s využitím katalytického konvertoru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 44 s. Třídící znak: 834741.
- [44] Metody měření znečišťujících látek v únicích do ovzduší: Fluor a jeho anorganické sloučeniny. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/145>
- [45] ČSN EN 14790. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení vodní páry v potrubí - Standardní referenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 48 s. Třídící znak: 834731.
- [46] KADLEC, Karel. Provozní analyzátory plynů. *Automa* [online]. 2001, II.(10) [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/provozni-analyzatory-plynu-2001_10_33683_472/
- [47] ČSN EN 12619. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace celkového plynného organického uhlíku - Kontinuální metoda využívající plamenový ionizační detektor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 24 s. Třídící znak: 834742.
- [48] ČSN EN 14789. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení kyslíku - Standardní referenční paramagnetická metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 44 s. Třídící znak: 834730.
- [49] ČSN EN ISO 10304. *Jakost vod - Stanovení rozpuštěných aniontů metodou kapalinové chromatografie iontů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 81 s. Třídící znak: 757391.
- [50] Kapalinová chromatografie. *Mendel university in Brno* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=52970
- [51] KADLEC, Karel. Pelistorové senzory – vlastnosti a použití. *Automa* [online]. 2004, IV(12) [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/pelistorove-senzory-vlastnosti-a-pouziti-2004_12_32653_456/
- [52] KADLEC, Karel. *Katalytické senzory a jejich aplikace v analýze plynů*. [online]. Praha: Ústav fyziky a měřicí techniky, FCHI, VŠCHT Praha, 2011, 24 s. [cit. 2019-04-22]. Dostupné také z: <https://kuhv.vscht.cz/files/uzel/0017043/Katalytick%C3%A9%20senzory.pdf?re-directed>

- [53] ČSN EN 13284. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení nízkých hmotnostních koncentrací prachu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 113 s. Třídící znak: 834617.
- [54] ČSN EN ISO 23210. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace frakce PM₁₀/PM_{2,5} v odpadním plynu - Stanovení nízkých koncentrací pomocí impaktorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 56 s. Třídící znak: 834793.
- [55] ČSN EN 13211. *Kvalita ovzduší - Stacionární zdroje emisí - Manuální metoda stanovení celkové hmotnostní koncentrace rtuti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002, 28 s. Třídící znak: 834760.
- [56] ČSN EN 14385. *Kvalita ovzduší - Stacionární zdroje emisí - Stanovení celkových emisí As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl a V*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004, 36 s. Třídící znak: 834761.
- [57] ČSN EN ISO 11885. *Jakost vod - Stanovení vybraných prvků optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 28 s. Třídící znak: 757387.
- [58] ČSN EN ISO 17294. *Kvalita vod - Použití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 71 s. Třídící znak: 757388.
- [59] ČSN EN 1948. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace PCDD/PCDF a dioxinům podobných PCB*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007, 200 s. Třídící znak: 834745.
- [60] ISO 6568. *Natural gas - Simple analysis by gas chromatography*. International Organization for Standardization, 1981.
- [61] *ABB: Analytical Measurement* [online]. Switzerland: ABB Asea Brown Boveri, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/measurement-products/analytical>
- [62] *Siemens: Analyzátory plynů* [online]. Česká republika: Siemens Česká republika, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=61cd5499cf&ctxp=doc_catalogy
- [63] *TESTO: Měřicí přístroje* [online]. Lenzkirch, Německo: Testo SE & Co., 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/products/produkty>
- [64] *TESTA: Product range* [online]. München, Germany: TESTA, 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.testa-fid.de/index.php?id=products&L=2>
- [65] *HORIBA: Process & Environmental* [online]. Kyoto, Japan: HORIBA, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.horiba.com/cz/process-environmental/products/combustion/>
- [66] *SICK: Produktové portfolio* [online]. Waldkirch, Německo: SICK, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/c/products>

-
- [67] *SAXON Junkalor: Produkte* [online]. Německo: SAXON Junkalor, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.saxon-junkalor.de/produkte>
- [68] *Dräger: Víceplynňé detektory* [online]. Lübeck, Německo: Drägerwerk AG & Co., 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://www.draeger.com/cs_cz/Mining/Productselector/Mobile-Gas-Detection/Multi-Gas-Detection-Devices
- [69] *Servomex: Gas Analyzers* [online]. Crowborough, Velká Briánie: Servomex, 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.servomex.com/gas-analyzers/>
- [70] *Gasmet: Emission Monitoring Systems* [online]. Vantaa, Finland: Site Logic, 2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.gasmet.com/products/category/emission-monitoring-systems/>
- [71] *Mercury Instruments: Mercury Vapor Analyzer Experts* [online]. USA: Mercury Instruments, 2013 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.mercury-instrumentsusa.com/index.html>
- [72] *Tekran: ProductsFlue Gas CEM. Tekran: ProductsFlue Gas CEM* [online]. Knoxville, Canada: Tekran Instruments Corporation, 2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.tekran.com/products/flue-gas-cem/series-3300-speciating-mercury-cem/>
- [73] *ULTRAMAT23: Návod k obsluze* [online]. Siemens [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/procesni_instrumentace/nalyzatory_plynu/extrakcni/opi_ultramat23_cz.pdf
- [74] ČSN ISO 7935. *Stacionární zdroje - Stanovení hmotnostní koncentrace emisí oxidu siřičitého - Charakteristiky automatických měřících metod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1998, 20 s. Třídící znak: 834701.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Graf dosahu TZL dle rozměru [21]	20
Obrázek 2	Hodnoty monitorovaných emisí ZEVO Praha v mg/m ³ [31]	24
Obrázek 3	Schéma systému čištění odpadních plynů ZEVO Praha [32]	27
Obrázek 4	Schématický nákres měření metodou NDIR [42]	32
Obrázek 5	Schématický nákres plamenového ionizačního detektoru [47]	34
Obrázek 6	Vliv rozdílné rychlosti proudění v komínu a sondě [53]	36
Obrázek 7	Typy sond podle způsobu odběru vzorku [53]	36
Obrázek 8	Schématický nákres impaktoru [54]	37
Obrázek 9	Schéma zapojení měřících přístrojů [39] [42] [74]	48
Obrázek 10	Vnitřní uspořádání přístroje Siemens Ultramat23	51
Obrázek 11	Paramagnetický senzor přístroje Siemens Ultramat23	51
Obrázek 12	Vnitřní uspořádání přístroje ABB Uras26	52
Obrázek 13	Vnitřní uspořádání přístroje TESTO 350S	54
Obrázek 14	Vnitřní uspořádání přístroje TESTO 350XL	54
Obrázek 15	Náběhová charakteristika Siemens ULTRAMAT23	60
Obrázek 16	Výběhová charakteristika Siemens ULTRAMAT23	60
Obrázek 17	Náběhová charakteristika ABB Uras26	61
Obrázek 18	Výběhová charakteristika ABB Uras26	61
Obrázek 19	Náběhová charakteristika Saxon Infralyt50	62
Obrázek 20	Výběhová charakteristika Saxon Infralyt50	62

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1	Sledované látky	13
Tabulka 2	Emisní limit pro oxid uhelnatý	18
Tabulka 3	Emisní limit pro oxidy dusíku	19
Tabulka 4	Emisní limit pro oxid siřičitý	19
Tabulka 5	Emisní limit pro TZL	20
Tabulka 6	Emisní limity pro TOC	20
Tabulka 7	Emisní limit pro chlor a jeho sloučeniny	21
Tabulka 8	Emisní limit pro fluor a jeho sloučeniny	21
Tabulka 9	Emisní limit pro PCDD a PCDF	22

Tabulka 10	Emisní limit pro Hg	22
Tabulka 11	Emisní limit pro Cd a Tl	22
Tabulka 12	Emisní limit pro As	23
Tabulka 13	Emisní limit pro Ni	23
Tabulka 14	Emisní limity těžkých kovů Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, V	23
Tabulka 15	Předpokládané složení odpadního plynu	24
Tabulka 16	Porovnání aktuálních a nastávajících emisních limitů 1/2	25
Tabulka 17	Porovnání aktuálních a nastávajících emisních limitů 2/2	25
Tabulka 18	Techniky pro snížení emise do ovzduší	26
Tabulka 19	Extraktivní moduly společnosti ABB	40
Tabulka 20	Měřicí rozsahy ULTRAMAT 6	41
Tabulka 21	Měřicí rozsahy PG-350E	43
Tabulka 22	Měřicí rozsahy ENDA-5000	43
Tabulka 23	Extraktivní moduly společnosti SICK	44
Tabulka 24	Měřicí rozsahy Siemens Ultramat23	50
Tabulka 25	Měřicí rozsahy ABB Uras26	52
Tabulka 26	Měřicí rozsahy Saxon Infralyt50	53
Tabulka 27	Měřicí rozsahy TESTA FID 2010T	53
Tabulka 28	Měřicí rozsahy TESTO 350	53
Tabulka 29	Měření citlivosti Siemens ULTRAMAT23	56
Tabulka 30	Měření citlivosti ABB Uras26	56
Tabulka 31	Měření citlivosti Saxon Infralyt50	56
Tabulka 32	Měření citlivosti TESTA FID 2010T	57
Tabulka 33	Měření citlivosti TESTO 350XL	57
Tabulka 34	Měření citlivosti TESTO 350S	57
Tabulka 35	Měření posuvu Siemens ULTRAMAT23	58
Tabulka 36	Měření posuvu ABB Uras26	58
Tabulka 37	Měření posuvu Saxon Infralyt50	58
Tabulka 38	Měření posuvu TESTA FID 2010T	59
Tabulka 39	Reakční doba Siemens ULTRAMAT23	59
Tabulka 40	Reakční doba ABB Uras26	61
Tabulka 41	Reakční doba Saxon Infralyt50	62
Tabulka 42	Podmínky odběru vzorku	63

Tabulka 43	Vyhodnocení měření citlivosti po kalibraci	64
Tabulka 44	Vyhodnocení měření posunu	65
Tabulka 45	Doby náběhu	66
Tabulka 46	Objemový tok plynu	66
Tabulka 47	Vzduchotechnické parametry	67
Tabulka 48	Použité rozsahy	67
Tabulka 49	Použité kalibrační plyny	67
Tabulka 50	Odběr a úprava vzorku	67
Tabulka 51	Přehled výsledků	68
Tabulka 52	Veličiny a značky	68
Tabulka 53	Literatura	69

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 : Výpočet nepřesnosti měření paramagnetické metody

Příloha 2 : Výpočet nepřesnosti měření metody NDIR

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratky	
Označení	Význam
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
SCR	Technologie katalytické selektivní redukce
SNCR	Technologie nekatalytické selektivní redukce
NDIR	Technologie nedisperzivní infračervené spektrometrie
FTIR	Technologie infračervené spektrometrie využívající Fourierovu transformaci
TZL	Tuhé znečišťující látky
TOC	Total Organic Carbon (Celkový organický uhlík)
PCDD	Polychlorované dibenzodioxiny
PCDF	Polychlorované dibenzofurany
BAT	Best Available Techniques (Nejlepší dostupné techniky)
BREF	Reference Document on Best Available Techniques (Referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách)
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadů
FID	Flame Ionizing Detector (Plamenoionizační detektor)
UV-VIS	Ultraviolet-visible (Ultrafialové-viditelné)
AAS	Atomová absorpční spektroskopie
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spektrometry (Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem)
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spektrometry (Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem)
PU	polyuretan
MS	Mass Spektrometry (Hmotnostní spektrometrie)
PTFE	Polytetrafluoretylen
TCD	Thermal Conductivity Detector (Tepelně vodivostní senzor)

PŘÍLOHY

Příloha 1 : Výpočet nepřesnosti měření paramagnetické metody

Charakteristika	Konstanta	Výpočet [%]
Odchylka od linearity	2 %	$\frac{(2/100) * 100}{\sqrt{3}} = 1,155$
Drift nuly	0 % obj./24 h	$\frac{(0/100) * 100}{\sqrt{3}} = 0$
Drift horní hranice měřícího rozpětí	0,07 % obj./24 h	$\frac{(0,07/100) * 100}{\sqrt{3}} = 0,0404$
Vliv kolísání průtoku vzorku plynu	1 % měřícího rozpětí	$\frac{1/100}{10} * 100 * \frac{2 * 2}{\sqrt{3}} = 0,231$
Vliv kolísání barometrického tlaku	0,2 % měřícího rozpětí/kPa	$(0,2/100) * 100 * \frac{100 - 99}{\sqrt{3}} = 0,115$
Vliv kolísání okolní teploty	2 % obj./10 K	$\frac{2/100}{10} * 100 * \sqrt{\frac{(292 - 291)^2 + (292 - 291)(291 - 290) + (290 - 291)^2}{3}}$ = 0,115
Vliv kolísání elektrického napětí	2 % obj./10V	$\frac{2/100}{10} * 100 * \frac{2 * (230/100 * 5)}{\sqrt{12}} = 1,328$
Laboratorní opakovatelnost na úrovni horní hranice měřícího rozpětí	1 % měřícího rozpětí	$(1/100) * 100 = 1$
Nejistota kalibračního plynu	2 %	$\frac{(2/100) * 0}{2} = 0$
Kombinovaná standardní nejistota		$\sqrt{1,155^2 + 0^2 + 0,0404^2 + 0,231^2 + 0,115^2 + 0,115^2 + 1,328^2 + 1^2 + 0^2} = 2,044$
Rozšířená nejistota		$2,044 * 2 = 4,088$

Příloha 2 : Výpočet nepřesnosti měření metody NDIR

Charakteristika	Konstanta	Výpočet [ml/m ³]
Odchylka od linearity	2 %	$\frac{(2/100) * 500}{\sqrt{3}} = 5,774$
Drift nuly	0 % obj./24 h	$\frac{(0/100) * 500}{\sqrt{3}} = 0$
Drift horní hranice měřicího rozpětí	0,2 % obj./24 h	$\frac{(0,2/100) * 500}{\sqrt{3}} = 0,577$
Vliv kolísání průtoku vzorku plynu	1 % měřicího rozpětí	$\frac{1/100}{10} * 500 * \frac{2 * 2}{\sqrt{3}} = 1,155$
Vliv kolísání barometrického tlaku	0,2 % měřicího rozpětí/kPa	$(0,2/100) * 500 * \frac{100 - 99}{\sqrt{3}} = 0,577$
Vliv kolísání okolní teploty	2 % obj./10 K	$\frac{2/100}{10} * 100 * \sqrt{\frac{(292 - 291)^2 + (292 - 291)(291 - 290) + (290 - 291)^2}{3}} = 0,115$
Vliv kolísání elektrického napětí	2 % obj./10 V	$\frac{2/100}{10} * 100 * \frac{2 * (230/100 * 5)}{\sqrt{12}} = 1,328$
Laboratorní opakovatelnost na úrovni horní hranice měřicího rozpětí	1 % měřicího rozpětí	$(1/100) * 500 = 5$
Nejistota kalibračního plynu	2 %	$\frac{(2/100) * 93}{2} = 0,93$
Kombinovaná standardní nejistota		$\sqrt{5,774^2 + 0^2 + 0,577^2 + 1,155^2 + 0,577^2 + 0,115^2 + 1,328^2 + 5^2 + 0,93^2} = 7,94$
Rozšířená nejistota		$7,94 * 2 = 15,88$